

# ERBAUINGENIEUR

ITSCHRIFT FÜR DAS GESAMTE BAUWESEN

Herausgeber: Prof. Dr.-techn. h. c. Dr.-Ing. K. Sattler / Berlin

Mitherausgeber: Prof. Dr.-Ing. A. Mehmel / Darmstadt

SPRINGER-VERLAG BERLIN GÖTTINGEN HEIDELBERG

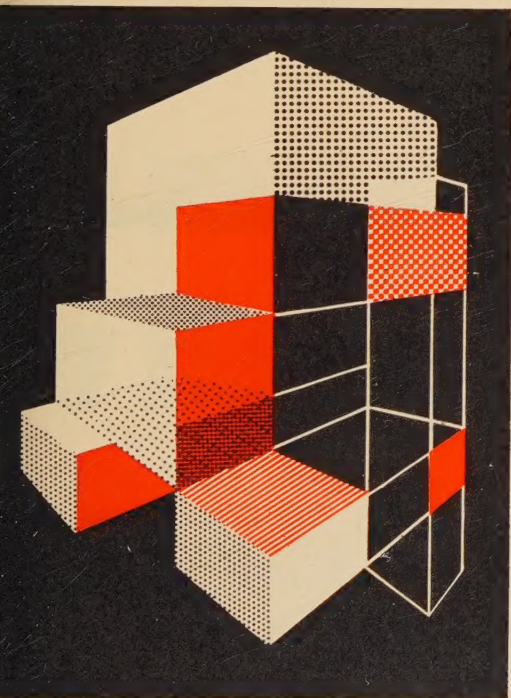
1959

10

## EXPOMAT

# 60

## PARIS



### Die 2. Internationale Bauausstellung

wird nächstes Jahr im C. N. I. T.

(Rond-Point de la Défense)

vom 17.-27. März stattfinden.

(3 Ausstellungsetagen, geheizte Räume).

liegt also in Ihrem Interesse, wenn Sie mit der Bestellung Ihres Platzes nicht zögern. Setzen Sie sich ab sofort mit der Ausstellungseitung in Verbindung

EXPOMAT, 1, Avenue Niel — Paris XVII<sup>e</sup> Tel. GAL. 96-98 & ETO. 39-86

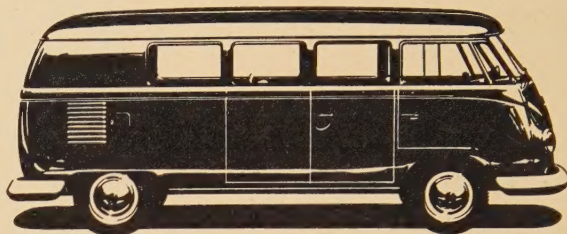
Korrespondenzen: 9. Bauverlag GmbH. — Kleine Wilhelmstraße 7 — Wiesbaden — Deutschland

### WELTGEGENÜBERSTELLUNG DER TECHNIKEN

## Das Angenehme mit dem Nützlichen verbinden

Diesen Wunsch erfüllen VW-Kleinbus und VW-Kombi. Beide Transportermodelle verbinden die Annehmlichkeiten eines großen Personenwagens mit den Vorteilen eines geräumigen Nutzfahrzeugs. Schnell, wendig und wirtschaftlich wie Limousinen, bieten VW-Sieben- oder Achtsitzer und Kombi (mit 4,8 cbm großem Innenraum) doppelt so viel Platz; das Kofferdepot im Heck (0,8 cbm) kann noch reichlich Gepäck aufnehmen. Die breite Zweiflügeltür ermöglicht ein ebenso bequemes Einsteigen wie müheloses Laden vom Bürgersteig her. Geschmeidige Federung und ausgewogene Gewichtsverteilung (Fahrer vorn, Motor hinten) erklären die immer vortreffliche Straßenlage des Wagens. Der sehr komfortabel ausgestattete VW-Sieben- oder Achtsitzer „Sondermodell“ mit Rundsichtverglasung und Sonnendach ist auch beim internationalen Hotelgewerbe, bei Luftfahrtgesellschaften, im Touristikverkehr und Zubringerdienst unentbehrlich geworden. Mit dem robusten VW-Kombi hat man praktisch drei Wagen in einem: Lastentransporter (ohne Bänke im Innenraum), Kleinbus (mit zwei Polsterbänken) und kombiniertes Transport-Fahrzeug (bei Einbau von nur einer Sitzbank). Die gute Mitgift dieser echten VW: geringer Kraftstoffverbrauch, bescheidene Steuer- und Versicherungssätze, preiswerter Kundendienst allerorts.

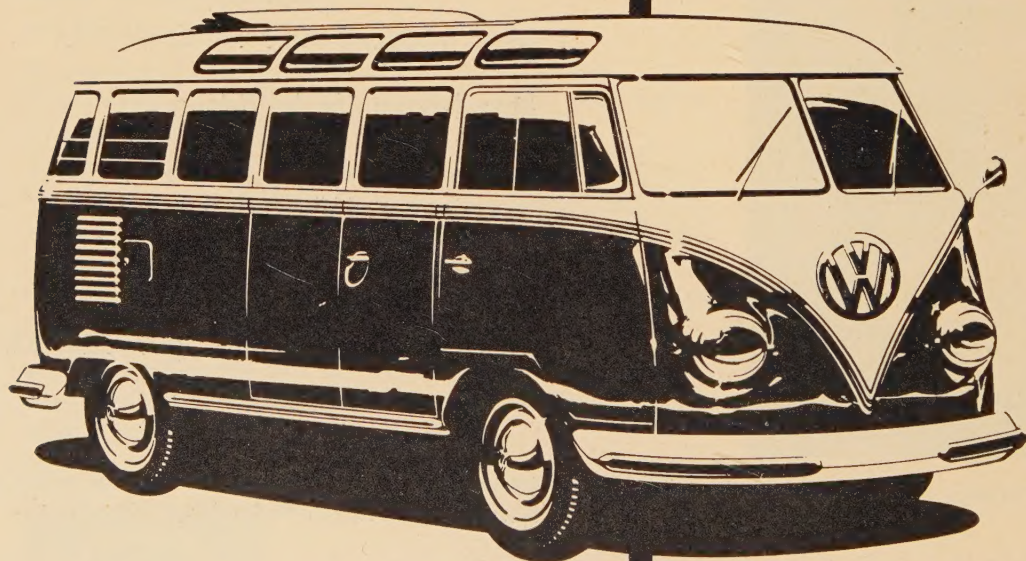
VW-Kombi ohne Sitze im Fahrgastraum 6 275,— DM.  
VW-Kombi mit Sitzeinrichtung für 8 Personen einschließlich Fahrer 6 600,— DM.



VW Sieben- oder Achtsitzer 6 975,— DM.



Alle genannten Preise gelten ab Werk.



VW Sieben- oder Achtsitzer „Sondermodell“ 8 475,— DM.



Volkswagenwerk GmbH

# Für den Fortschritt „am Bau“

haben sich im Hause WACKER Maschinenbau und Bautechnik verbündet zu gemeinsamer Arbeit an den Verdichtungsgeräten, nach denen der Fachmann verlangt.

Tradition, Erfahrung und konsequente Spezialisierung heißen die Pfeiler, auf denen das weltweite Vertrauen zum WACKER-Programm ruht. Ständiges ergänzendes Zusammenwirken von Maschinen- und Bauingenieur birgt die Sicherheit der Erfüllung aller Praxiswünsche.

**I**

**INNEN-VIBRATOREN**

**II**

**VIBRO-STAMPFER**

**III**

**AUSSEN-VIBRATOREN**

**IV**

**VIBRO-PLATTEN**

**V**

**VIBRO-HAMMER  
GLEISSTOPFER**

**VI**

**AGGREGATE**

**VII**

**UMFORMER**



Maschinen-Ingenieur  
Hermann Wacker



Bau-Ingenieur  
Peter Wacker

## GEBRÜDER WACKER KG

MASCHINENFABRIK • STAMMWERK 1848 GEGRÜNDET

**MÜNCHEN 13 • RUF 352311**

TELEGRAMM: WACKERVIBRATOR • FERNSCHREIBER 0523133

Verdichtungstechnische Informationen“ vermittelt Ihnen unsere neueste Drucksache A 38. Bitte, fordern Sie diese unverbindlich an.

Seit 110 Jahren



**Beton-  
Maurer- und  
Putzarbeiten  
mit**

**CERINOL-AEA**  
MISCHÖL · MISCHPULVER

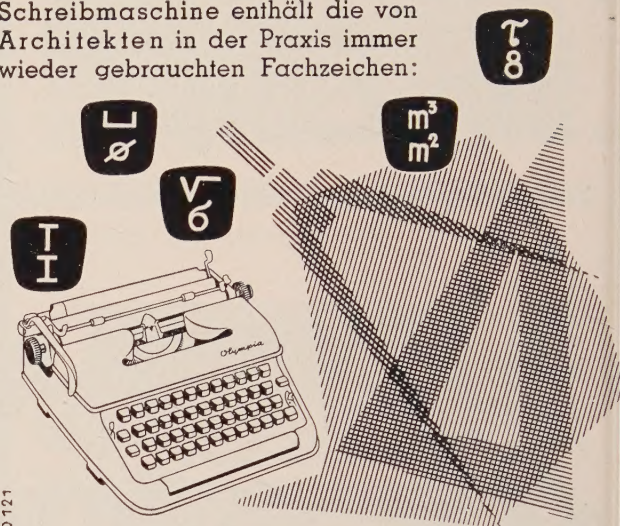
- SCHNELLER
- BESSER
- BILLIGER

**BAUTENSCHUTZ**  
**DEITERMANN**  
CHEMISCHE WERKE DATTELN

**Olympia**

vorteilhaft mit der  
Spezialtastatur für  
**Architekten**

Die Spezialtastatur der OLYMPIA-Schreibmaschine enthält die von Architekten in der Praxis immer wieder gebrauchten Fachzeichen:



Handschriftliche Eintragungen und viele Anschläge werden durch die Spezialtastatur eingespart

Ausführliche Druckschriften sendet Ihnen

**OLYMPIA WERKE AG.**  
**WILHELMSHAVEN**

## Entwurf und Berechnung von Stahlbauten

Von FRITZ STÜSSI, Dr. sc. techn., LL. D. h. c., Dr.-Ing. h. c., Dr.-Ing. E. h., o. Professor an der Eidg. Technischen Hochschule, Zürich

Erster Band: **Grundlagen des Stahlbaues.** Mit 524 Abbildungen. XI, 577 Seiten  
Gr.-8°. 1958. Ganzleinen DM 55,50

### AUS DEN BESPRECHUNGEN

„Dieses Werk eines unserer Meister des Stahlbaues unterrichtet zunächst über die Metallurgie, die Festigkeitseigenschaften und den Korrosionsschutz des Baustoffes Stahl. Weiterhin werden die lösbaren und unlösbaren Verbindungsmittel nach theoretischen und praktischen Gesichtspunkten eingehend besprochen; gerade die Schweißung findet man so zusammenhängend knapp und doch umfassend sonst wohl kaum in einschlägigem Schrifttum behandelt. Differentialgleichungen der Baustatik werden numerisch mit der vom Verfasser entdeckten sog. Mehrstellenmethode in dem Differenzenverfahren für gewöhnliche und partielle Differentialgleichungen leicht verständlich und äußerst schnell gelöst; mehrere Beispiele (Membrangleichung, Schalen- und Plattengleichung) sind mit verschiedenen Randbedingungen durchgerechnet. Im nächsten Abschnitt wird auf die Theorie der Verbiegung und Verdrehung dünnwandiger Stäbe mit verschiedenen Querschnittsformen und die Behandlung von Stabilitätsproblemen eingegangen. Es folgen Ausführungen über die Methoden zum Berechnen der Stabilitätszahlen nebst Erläuterungen an einzelnen Beispielen. Außerdem werden das Ausbeulen dünnwandiger Rohre und das plastische Ausbeulen gründlich erörtert. Im siebenten Abschnitt befaßt sich der Verfasser mit den Schwingungsproblemen (Eigenschwingungen von Vollwandträgern, gedrückten Stäben und von Fachwerkträgern sowie erzwungenen Schwingungen bei verschiedenen Lastformen) und bespricht anschließend ausführlich die Bauelemente Vollwand- und Fachwerkträger sowie Lager und Gelenke in ihrer verschiedenen Ausbildung und Bemessung. Der Abschnitt über die Herstellung von Stahlbauten beschließt das Standardwerk, das nicht nur dem Ingenieur sehr empfohlen werden kann, sondern auch für den auf dem Gebiet der angewandten Mathematik und Physik Tätigen eine Fundgrube bildet.“ VDI-Zeitschrift

**SPRINGER-VERLAG · BERLIN · GÖTTINGEN · HEIDELBERG**

# WER baut heute noch rückständig?

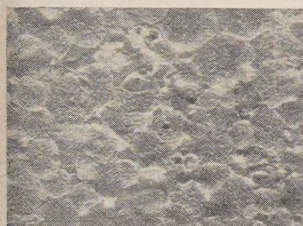
Unsere Baubranche, die so alt ist wie die Menschheit selbst, lebt von der ständigen Erneuerung und Weiterentwicklung ihrer Methoden und Werkstoffe.

## Also kann man gar nicht rückständig bauen?

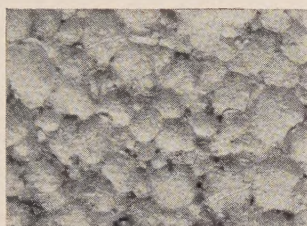
Leider doch! Die Entwicklung, gerade auf dem Sektor der Isolierbaustoffe, geht so rasch, daß man leicht Vorteile übersieht, die für die Perfektion des Bauwerkes wichtig sind.

Nehmen Sie z. B. unsere CORBLANIT-Bausolierplatten aus Hartschaum. Wüßten Sie schon, daß es diese auch „schwer entflammbar, kernimprägniert“ gibt? Mit der Entwicklung von CORBLANIT-NE-Platten wurde eine dringende Forderung der Praxis erfüllt.

## Erkennen Sie den Unterschied?



Urschnitt einer normalen CORBLANIT-Bausolierplatte vom Typ R 20 in natürlicher Größe.

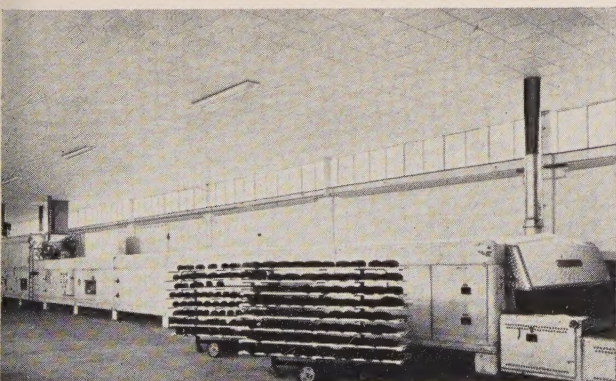


CORBLANIT NE-schwer entflammbar, kernimprägniert. Jedes, auch das kleinste Styroporpartikel ist von den flammwidrigen Wirkstoffen (blau) umhüllt.

Haben Sie für Fabrikationshallen, in Büros, Treppenhäusern oder aber auch in Komfortwohnungen moderne Untersichtdecken vorgesehen? Hier wäre doch die CORBLANIT-Kassettendecke am richtigen Platz.

## Dafür läßt sich Ihr Bauherr begeistern!

Mit der CORBLANIT-Kassettendecke verbinden Sie reizvolle architektonische Raumgestaltung mit der Zweckmäßigkeit eines guten Wärme- und Schallschutzes. Sie wählen entweder die glatten, weißen Industriekassetten oder die in vielen zarten Farben gehaltenen Formplatten. Das Gewicht der CORBLANIT-Kassettendecke ist extrem gering: ganze 400 Gramm pro Quadratmeter! Einfache, flinke Trockenmontage und ein vernünftiger Materialpreis überzeugen.



Unzählige Möglichkeiten gibt es, die CORBLANIT-Kassettendecke auch nachträglich in beanspruchte Räume einzubauen. Wie hier, in einer Brotfabrik.



10 000 Quadratmeter CORBLANIT-Welldach-Isolierung

Auch in diese Super-Fabrikationshalle wurde kontinuierlich mit der Dacheindeckung unser CORBLANIT-Welldach-Isoliersystem eingebaut.

## Gut be„dacht“ ist halb gewohnt

Sie suchen die konstruktiv und wirtschaftlich ausgereifte Lösung für den Wärme- und Kälteschutz von Wellasbestzementdächern? Es gibt sie: unser CORBLANIT-Welldach-Isoliersystem! Von allen Gesetzen der Statik unbelastet, läßt sich das leichte CORBLANIT-Welldach-Isoliersystem Zug um Zug mit der Dacheindeckung bei geringem Lohnaufwand verlegen. Industriehallen, Wohnhäuser, Garagen und natürlich auch Kartoffel- und Obstlager, Ställe und Scheunen erhalten so den erforderlichen Wärmeschutz — genau auf die Betriebsbedingungen zugeschnitten. Der große Wärmedurchlaßwiderstand von CORBLANIT verhilft zu geringen Isolierdicken. Und das ist für den Bauetät doch entscheidend!

## Am besten, Sie nehmen ® CORBLANIT

CORBLANIT, unser Markenerzeugnis aus Styropor\* ist in seinen Standardtypen R 16 oder R 20 und in den Spezialerzeugnissen NE-schwer entflammbar, als Putzträgerplatte (nicht besandet!), als Welldachisoliersystem, Kassettendecke oder als Tapetenunterlagsbahn die Grundlage für moderne Bauisolierung.

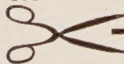
Auf alle Fälle sollten Sie sich die ausführlichen Arbeitsmappen mit Mustern unverbindlich kommen lassen. Es lohnt sich, damit zu arbeiten! Und wenn Sie schon etwas „im Kommen“ haben — bitte schreiben Sie es uns. Unser technischer Kundendienst wird Ihnen dann konkrete Vorschläge bzw. Wirtschaftlichkeitsberechnungen unterbreiten.

\* ® STYROPOR, eingetragenes Warenzeichen der BASF

## RHEINHOLD & MAHLA GMBH

Abt. Isolierbaustoffe

Stammhaus Mannheim-Augusta-Anlage 32



## GUTSCHEIN

für kostenlose Zusendung folgender Arbeitsmappen oder Prospekte

CORBLANIT (R 16, R 20, NE, Putzträgerplatte)  
„ Welldachisoliersystem  
„ Kassettendecke

Anschrift: \_\_\_\_\_

A 5

Lieferung nur über den Fachhandel



# 15 SCHREIBELEMENTE IN EINEM HALTERSCHAFT! AUSWECHSELBARES SYSTEM

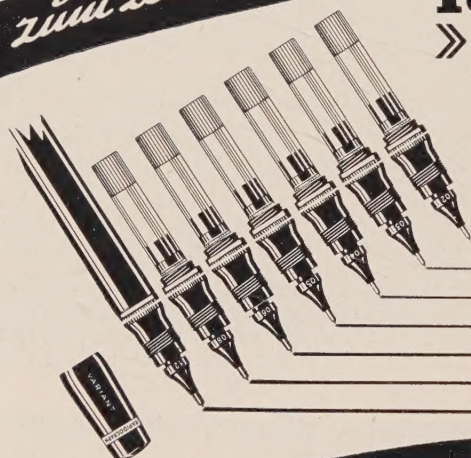


Die neuesten **ROTRING-Erzeugnisse**  
GEZEIGT AUF DER INDUSTRIEMESSE HANNOVER 1959

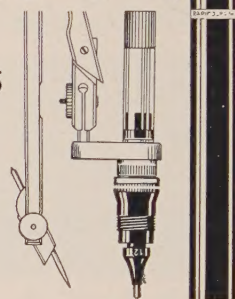
*zum Zeichnen*

## RAPIDOGRAPH » VARIANT «

IN 7 LINIENDICKEN  
VON 0,2–1,2 mm DIN 15



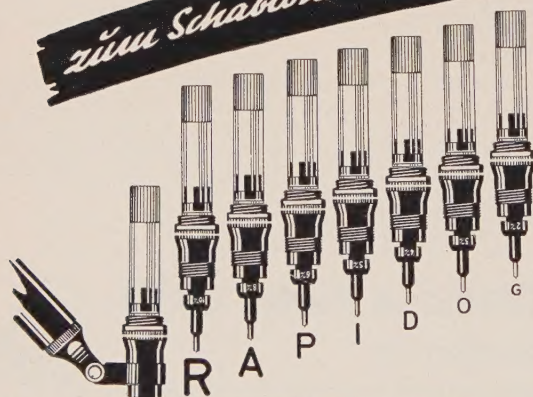
ZIRKELANSATZ  
ZUM ZEICHNEN VON  
KLEINSTEN UND  
GROSSEN KREISEN



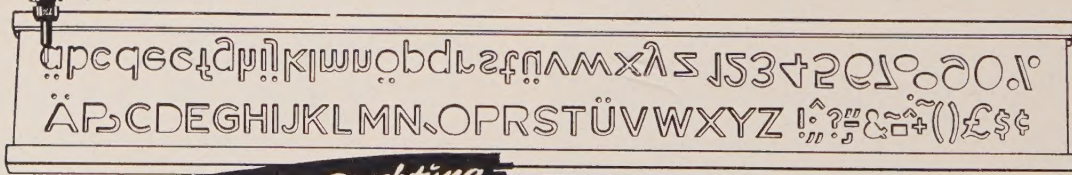
*zum Schabloneuschriften*

## RAPIDOGRAPH » VARIOSCRIPT «

FÜR 8 SCHRIFTHÖHEN VON 2–10 mm  
DIN 1451



**RAPIDOGRAPH-SCHABLONEN**  
FÜR GERADE UND SCHRÄGE SCHRIFT



*zur besonderen Beachtung*

Nähere Einzelheiten in unserer  
PREISLISTE Nr. 2 ROTRING-ZEICHENGERÄTE,  
die unseren Kunden mit der Post zugeht.

**RIEPE-WERK · HAMBURG-ALTONA**

### Inhaltsübersicht

|                                                                                                                                                 | Seite |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| K 624.5 (282.272.4)                                                                                                                             |       |
| <i>Dr.-Ing. W. Weiss, Freeport/New York:</i>                                                                                                    |       |
| er Bau der „Walt Whitman Bridge“ über den Dela-<br>ware River in USA. Mit 16 Abbildungen .....                                                  | 381   |
| K 626/627 : 621.22 (73)                                                                                                                         |       |
| <i>Prof. Dr.-Ing. O. Kirschmer, Darmstadt:</i>                                                                                                  |       |
| er Ausbau von Wasserkraften in USA im Rahmen von<br>Mehrzweck-Aufgaben. Mit 13 Abbildungen .....                                                | 387   |
| K 531.221.8 : 624.071.2 : 624.91                                                                                                                |       |
| <i>Dr.-Ing. H. K. Bandel, New York:</i>                                                                                                         |       |
| as orthogonale Seilnetz hyperbolisch-parabolischer<br>Form unter vertikalen Lastzuständen und Tempera-<br>turänderung. Mit 13 Abbildungen ..... | 394   |
| K 624.21.073.1.001.5 : 681.142 : 621-52                                                                                                         |       |
| <i>M. Naruoka, Kyoto, Japan:</i>                                                                                                                |       |
| ntersuchung der schiefen Platte mit Benutzung des<br>Rechenautomaten. Mit 5 Abbildungen .....                                                   | 401   |
| K 624.21.094 : 621-272.6 : 624.073.111.001.57                                                                                                   |       |
| <i>H. Daniel und W. Richter, Bad Godesberg:</i>                                                                                                 |       |
| odellversuche mit elastisch gelagerten schiefen Platten.<br>Mit 5 Abbildungen .....                                                             | 406   |

### Kurze Technische Berichte

|                                                                                                                                                                    |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| K 621.039 : 624.953 : 621.6.03 : 539.168/.169                                                                                                                      |     |
| robleme der Wärmeentwicklung bei der Behälter-<br>speicherung hochgradig radioaktiver Flüssigkeiten.<br>Mit 6 Abbildungen .....                                    | 408 |
| K 621.039 : 628.54 : 553                                                                                                                                           |     |
| ermanente Unterbringung hochgradig radioaktiver Ab-<br>fallflüssigkeiten in Salzlagerstätten und tiefgelegenen<br>durchlässigen Sedimenten. Mit 2 Abbildungen .... | 410 |
| K 69.058.2 : 620.172.222 (047.6)                                                                                                                                   |     |
| essung örtlicher Dehnungen unter statischer Last<br>Mit 1 Abbildung .....                                                                                          | 411 |
| ichbesprechungen .....                                                                                                                                             | 411 |
| euerscheinungen .....                                                                                                                                              | 413 |
| erschiedenes .....                                                                                                                                                 | 413 |
| itteilungen aus der Industrie .....                                                                                                                                | 416 |

# DER BAUINGENIEUR

berichtet über das gesamte Gebiet des Bauingenieurwesens (mit Ausnahme von Vermessungswesen, Verkehrstechnik, Wasserversorgung und Entwässerung der Siedlungen). Er bringt Aufsätze über Baustoffe, Theorie und Praxis der Ingenieurkonstruktion, interessante Bauausführungen, Berichte über merkwürdige Veröffentlichungen des Auslandes, Normungsfragen und Tagungen, Buchbesprechungen.

Originalbeiträge nehmen an die Herausgeber:

**Professor Dr. techn. h. c. Dr.-Ing. K. Sattler**

Technische Universität Berlin,

Lehrstuhl für Stahlbau

(1) Berlin-Charlottenburg 2, Hardenbergstr.

**Professor Dr.-Ing. A. Mehmel,**

(16) Darmstadt, Technische Hochschule.

Alle sonstigen Mitteilungen, Bücher, Zeitschriften usw. werden erbeten an die

**Schriftleitung „Der Bauingenieur“,**

Springer-Verlag,

Berlin-Wilmersdorf, Heidelberger Platz

Für die Abfassung der Arbeiten sind die von den Herausgebern anzufordernden Richtlinien zu beachten. Für Formelgrößen usw. sollen soweit irgend möglich die genormten Bezeichnungen nach DIN 13 und 1044 bzw. der BE. benutzt werden. Vorlagen für Abbildungen werden auf besonderen Blättern erbeten. Reinzeichnungen werden soweit erforderlich vom Verlag ausgeführt.

**Nachdruck:** Mit der Annahme des Manuskripts eines Beitrages für die Zeitschrift „Der Bauingenieur“ erwirbt der Springer-Verlag das ausschließliche Verlagsrecht für alle Sprachen und Länder, einschließlich der Rechts der photomechanischen Wiedergabe oder einer sonstigen Vervielfältigung. — Im „Bauingenieur“ erscheinende Arbeiten dürfen nicht vorher an anderer Stelle veröffentlicht worden sein und auch später nicht anderweitig, weder im Inland noch im Ausland, veröffentlicht werden. Ausnahmen von dieser Regel dürfen einer entsprechenden Vereinbarung zwischen Autor, Herausgeber und Verlag.

**Photokopien:** Auf Grund des zwischen dem Börsenverein des Deutschen Buchhandels e. V. und dem Bundesverband der Deutschen Industrie abgeschlossenen Rahmenabkommens ist jedoch die Anfertigung photomechanischer Kopien eines Beitrages gewöhnlichen Unternehmen für den innerbetrieblichen Gebrauch gestattet, sofern der Hersteller oder Benutzer jede Seite dieser Kopie mit einer Gebühren-Warntafel im Betrag von DM 0.10 kenntlich macht. Die Marken sind zu beziehen vom Börsenverein des Deutschen Buchhandels e. V. (Inkasso-Stelle), Frankfurt a. M., Großer Hirschgraben 17/19. (Der Verlag läßt die Beträge den Autorenverbänden zufließen.) Die Verpflichtung zur Verwendung von Gebühren-Warntafeln entfällt, falls der Hersteller von Kopien dem Springer-Verlag ein Pauschalabkommen über Kopie-Gebühren-Entrichtung vereinbart hat.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in dieser Zeitschrift berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, daß solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

**Erscheinungsweise:** Monatlich.

**Bezugspreis:** Vierteljährlich DM 12,— (Einzeln DM 4,50) zuzüglich Postgebühren. — Für Studierende ermäßigt sich der Bezugspreis auf DM 9,— vierteljährlich zuzüglich Zustellgebühren. — Die Lieferung läuft weiter, wenn nicht 4 Wochen vor Vierteljahresschluß abbestellt wird. Der Bezugspreis ist im voraus zahlbar. — Bestellungen nimmt jede Buchhandlung, jedes Postamt oder der Verlag entgegen.

**Anzeigen** nimmt die Anzeigen-Abteilung des Verlages (Berlin-Wilmersdorf, Heidelberger Platz 3, Westberlin, Fernspr.: Sammelnummer 83 03 01) an. Die Preise wolle man unter Angabe der Größe und des Platzes erfragen.

**SPRINGER-VERLAG**

Berlin · Göttingen · Heidelberg

## Der Bau der „Walt Whitman Bridge“ über den Delaware River in USA

Von Dr.-Ing. Wilhelm Weiss, Freeport/New York, USA

DK 624.5 (282.272.4)

Zu den bedeutendsten Brückenbauten der letzten Jahre in den USA zählt die „Walt Whitman Bridge“, eine Hängebrücke, die wegen ihrer kühnen und gefälligen Bauart die besondere Aufmerksamkeit der Beschauer auf

einer Hilfskonstruktion ähnlich einer Wiege, die besonders für diesen Zweck gebaut worden war (Abb. 3). Die Abb. 4 zeigt Teile des unteren Portales, auf das die Versteifungsträger mit der Fahrbahn zu liegen kommen. Der Einbau dieses Portales erfolgte mit Hilfe eines besonderen Kranes



Abb. 1. Walt Whitman Bridge.

ich lenkt (Abb. 1). Sie ist ein Projekt der „Delaware River Port Authority of Pennsylvania and New Jersey“.

Die Gesamtlänge der Brücke beträgt rund 1,0 km, wovon 610 m auf die Hauptöffnung des Hängebrückenteils und 235 m auf die beiden Seitenöffnungen entfallen. In der Spannweite der Hauptöffnung steht die Brücke an achter Stelle der großen Brücken der Welt.

Die Konstruktion der beiden Pylonen ist aus Abb. 2 und 16 ersichtlich. Die Schäfte zeigen im Querschnitt am Fuß die Maße 6,7/4,9 und am Kopf 4,3/3,7 m und sind in 2 Zellen untergeteilt, die einen mittleren Raum für einen Fahrstuhl umschließen. Die 15 cm dicke Grundplatte hat 8 Bohrungen für 7,5-cm-Ankerbolzen.

Die Montage erfolgte mit Hilfe eines schwimmenden Turm-Derricks von 115 t Tragkraft. Mit seinem 30,5 m langen Ausleger und der Verlängerung von 6 m konnte er eine Höhe bis zu 73 m über dem Wasser bezwingen. Jeder der Pylonenschäfte war der Höhe nach aus 10 Einzellängen zusammengesetzt (Abb. 3). Um Beschädigungen der genau bearbeiteten Stoßflächen auszuschließen, bediente man sich

(creeper traveller), zu dessen Inbetriebsetzung die beiden Schwimm-Derricks dienten.

Die Abb. 5 veranschaulicht den Vorgang bei der Montage des oberen Portales einer Pylone mit einer vorher errichteten Kragkonstruktion. Die Abbildung läßt auch den Einbau von zwei Sätteln auf dem Kopf der Pylone für die Lagerung der Kabel erkennen. Insgesamt waren 8 solcher Stahlguß-Sättel erforderlich, davon je zwei für jede Pylone und je zwei für eine Verankerung. Die Bauart dieser Sättel vermittelt Abb. 6. Ein solcher Sattel mit dem tragenden Unterbau ist 5,2 m hoch und 6,1 m lang. In die Konstruktion des Verankerungsbauwerks geben die Abb. 7 u. 8 einen guten Einblick; sie zeigen die Augenstäbe für die Befestigung der Kabelstränge, von denen jedes Kabel 37 besitzt mit je 308 Stahldrähten.

Das Spinnen der Kabel in der Luft erfolgte in der bisher bei den Hängebrücken bekannten Art und Weise.

Für das Einsetzen des letzten (Mittel-) Stückes des oberen Portales wurde nach der Montage des 9. Teilstückes eines Pylonenschaftes seitlich am Kopf eine Kraghilfskon-

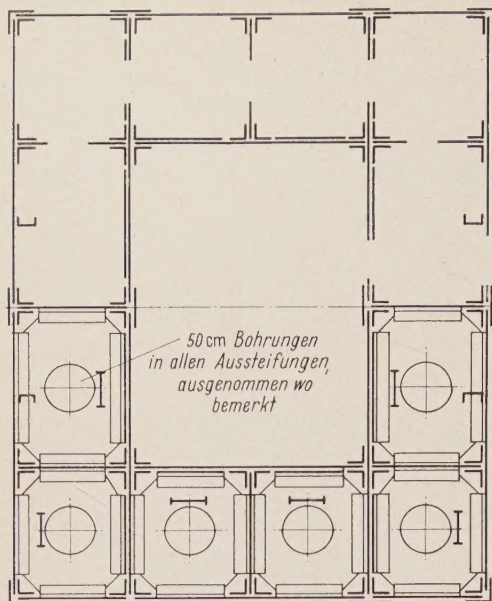


Abb. 2. Querschnitt der Pylone.

struktion angebracht, die es ermöglichte, das Zueinanderstreben der Köpfe infolge des Gewichtes der bereits eingesetzten Stücke des oberen Portales zu verhindern bzw. die Lücke für das Schlußstück groß genug zu sichern.

Die Fahrbahn besteht aus den für die ganze Entfernung zwischen den Verankerungen kontinuierlich gerechneten zwei parallelen Versteifungsträgern mit 173 Querträgern, die rechtwinklig an die Versteifungsträger angeschlossen sind. Jeder dieser Querträger hat ein Gewicht von 22 t und mißt 26,5 m in der Länge und rund 5 m in der Höhe. Ihr Transport war mit den üblichen flachen Waggons nicht durchzuführen; es erwies sich als notwen-

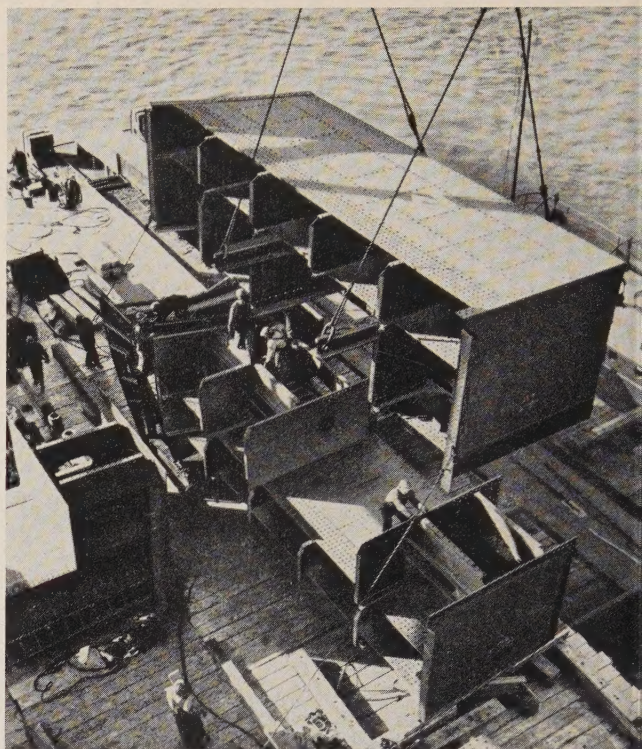


Abb. 4. Zusammenbau des unteren Portales.

dig, besonders steife Waggons auszubilden. Dabei reicht die Unterkante der Querträger bis auf 15 cm über die Schienenoberkante. Das Einsetzen des letzten Querträgers veranschaulicht Abb. 9. Zur Aufnahme der Fahrbahndielen dienten 16 Stahlträger als Längsträger, die auf den Querträgern auflagerten. Ihre Entfernung voneinander beträ-



Abb. 3. Montage der Pylone.

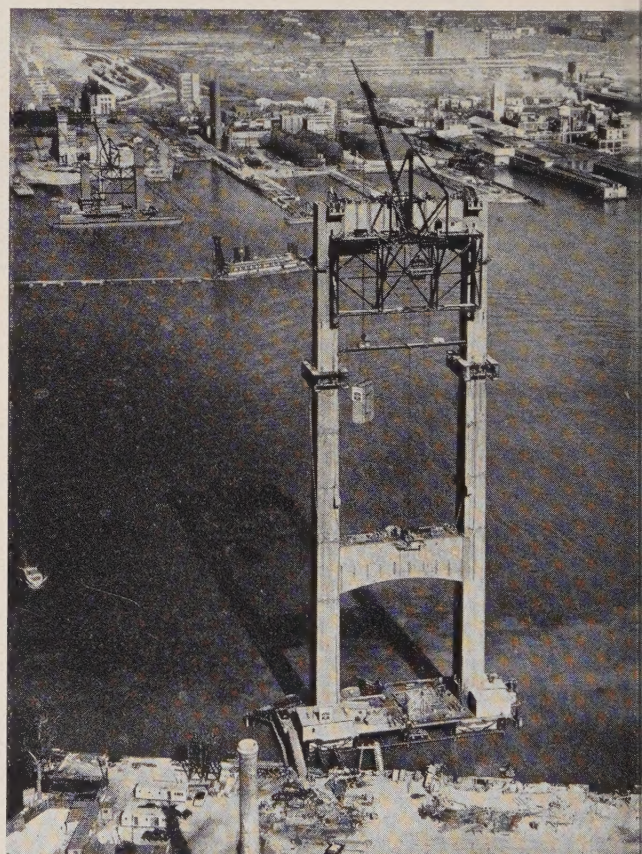


Abb. 5. Montage des oberen Portalriegels und der Kabelsättel.

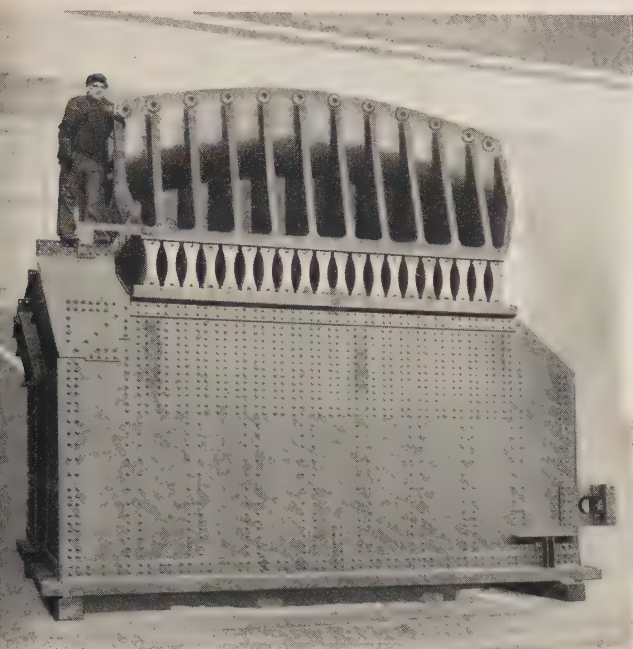


Abb. 6. Kabelsattel.

5 m. Die Konstruktion der beiden Seitenöffnungen der Hängebrücke ist, was die Fahrbahn betrifft, die gleiche wie für die Hauptöffnung; alle 12,2 m an einem Knotenpunkt des Versteifungsträger-Obergurtes ist ein Hängeseil für das Kabel angeschlossen.

Der Einbau der Versteifungsträger auf der Baustelle ging in der ebenfalls für Hängebrücken bekannten Weise



Abb. 7. Verankerungsbauwerk.

sich. Es sei nur auf einige Gesichtspunkte hingewiesen. Nachdem die Kabel verankert waren und ihre Tragfähigkeit ausgenutzt werden konnte, konnte auch mit dem Einbau der Fahrbahn begonnen werden. Der erste Schritt hierzu war die Anbringung einer Behelfstragkonstruktion in den Pylonenschäften, auf der ein Guy-Derrick montiert werden konnte, mit dem das Einsetzen der ersten Anschlußstücke an die Pylone durchgeführt werden konnte; aus Abb. 10 geht dies deutlich hervor. Mit der Montage der ersten Anschlußstücke des Versteifungsträgers und des ersten Querträgers vollzog sich dann Schritt für Schritt auch der Einbau der Fahrbahndecke zunächst mit den äußeren Bestandteilen; der weitere Einbau der Fahrbahn wurde dann mit zwei 16-t-Kranen von beiden Seiten des Flusses bewerkstelligt (Abb. 11) bis zur Begegnung in

der Mitte der Spannweite, wo dann der Einsatz des Schlußstückes und des letzten Querträgers erfolgte (Abb. 12). Gleichzeitig mit dem Bau des Strombrückenteiles wurde auch mit der Montage der Landbrücken von Ost und West begonnen, die mit 23 000 t Stahlgewicht einen bedeutenden Anteil an der Gesamtkonstruktion dieser vorbildlichen Brücke hatten. Die Abb. 13 läßt die Konstruktion dieser Brücken erkennen.

Soweit nicht schon in dem vorstehenden Bericht Einzelheiten des Brückenbaues genannt sind, sei noch auf folgendes hingewiesen:

Höhe der Pylonen: 115,3 m.

Gewicht der Pylonen: 10 215 t.

Durchmesser der Kabel: 59 cm.

Länge der Kabel, je zwischen den Verankerungen: 1172 m.

Gewicht der Kabel: 4500 t.

Gesamtlänge der Hängeseile: 18 820 m.

Höhe der Durchfahrtöffnung im Mittelpunkt der Hauptspannweite über Mittelhochwasserspiegel: 46 m.

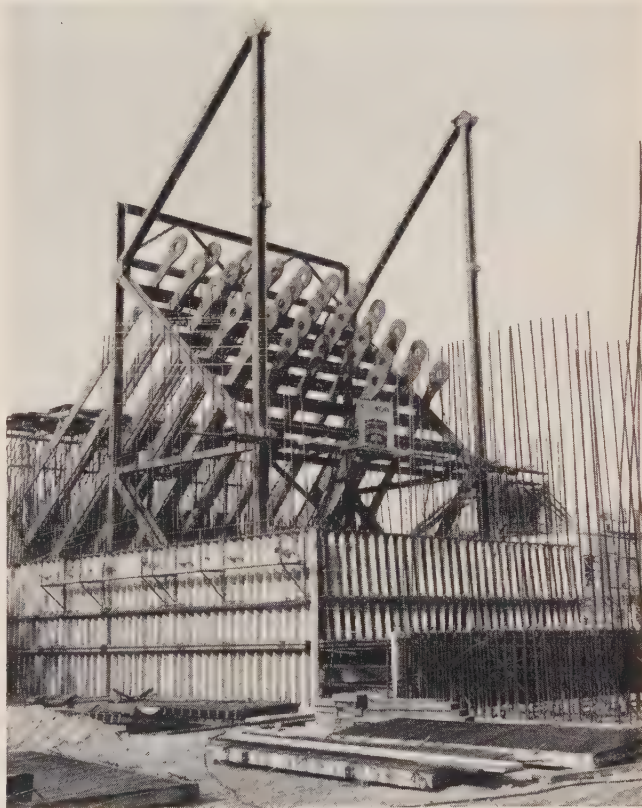


Abb. 8. Seilverankerung.

Über den Bau der „Walt Whitman Bridge“ liegt ein umfassender Bericht vor, der im „Journal of the Structural Division Proceedings of the American Society of Civil Engineers“ (Paper 1019 ST 4) erschienen ist und die Herren Milton Brumer\* und C. W. Hanson\*\* als Verfasser hat. Mit deren Einverständnis sind die folgenden Angaben und Zeichnungen aus diesem Bericht entnommen als Ergänzung zu den photographischen Abbildungen, die von der ausführenden Stahlbaufirma, der Bethlehem Steel Corporation, freundlichst überlassen wurden. Andere konstruktive Darstellungen standen leider nicht zur Verfügung.

\* Associate Partner, Ammann & Whitney, Cons. Engrs. New York/N. Y.

\*\* Partner, Modjesky & Masters, Cons. Engrs Harrisburg, Pa.



Abb. 9. Einbau der Querträger.



Abb. 10. Anschluß der Versteifungsträger an die Pylonen.

Seit dem Einsturz der Tacoma Narrow Bridge steht die Frage der Steifigkeit von Hängebrücken gegen starken Sturm schon bei der Planung mit an erster Stelle. Bei der „Mackinac Bridge“ (Entwurf und Überwachung der Ausführung Dr. D. B. Steinman, Cons. Engineer New York/N. Y.) gab diese Frage Anlaß zu gründlichen Untersuchungen in Windtunnels, bei der „Walt Whitman Bridge“ nahm man Abstand von solchen kostspieligen und zeitraubenden Untersuchungen und hielt eingehende theoretische Berechnungen unter Einbeziehung vergleichender Gegenüberstellungen von Konstruktionen einer ganzen Reihe von großen Brückenausführungen für ausreichend und minde-

stens ebenso wichtig. Von O. H. Ammann wurde eine Gleichung für einen Steifigkeits-Index entwickelt, die Grundlage von künftigen Hängebrücken-Konstruktionen werden dürfte (siehe hierzu die oben erwähnte Schrift). Beim Vergleich von 40 Brücken konnte festgestellt werden, daß ihr Steifigkeits-Index der Ammannschen Formel entsprach, die einen Index zwischen 600 und 800 als Formung für genügende Steifigkeit gegen Wind ermittelt hat. Dieser Index ergab sich für die „Walt Whitman Bridge“ zu 760, für die eingestürzte „Tacoma Narrow Bridge“ dagegen nur zu 160.



Abb. 11. Montage von Versteifungsträger und Fahrbahn.

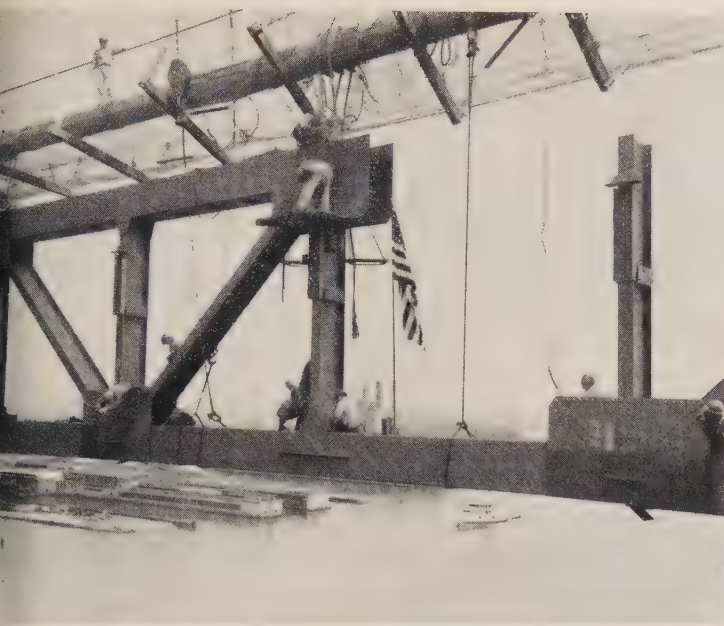


Abb. 12. Einbau des Versteifungsträger-Schlußstückes.



Abb. 13. Vorlandbrücke.

Im Einklang mit den Ergebnissen der theoretischen Berechnungen und auf Grund der Erfahrungen und Modellversuche gilt es als wünschenswert, für bessere aerodynamische Stabilität von weitgespannten Hängebrücken gedeederte Versteifungsträger und Deckenträger anstatt vollständige Träger zu verwenden (Abb. 15), ferner seitliche Versteifungen an den Ober- und Untergurten für Verwindungssteifigkeit vorzusehen und schließlich die Fahrbahndecke durch Schlitze soweit als möglich winddurchlässig zu machen. Wesentlich ist auch die Sicherung vertikaler Steifigkeit der Versteifungsträger durch eine entsprechende Konstruktionshöhe (5,5 m durchweg bei der „Walt Whitman Bridge“). Alle diese Forderungen sind in der „Walt Whitman Bridge“ erfüllt. Hierüber geben die aus der oben erwähnten Broschüre entnommenen zeichnerischen Darstellungen in den Abb. 14 u. 15 Aufschluß.

Für die Fahrbahndecke (24 m Breite mit 7 lanes) wurde ein 12 cm hohes Stahlgitter gewählt, das mit Beton und 5,5 cm bituminösem Aufbeton ausgefüllt wurde (Abb. 1 u. 15).

Die „Walt Whitman Bridge“ ist, wie schon eingangs erwähnt, ein Projekt der „Delaware River Port Authority of Pennsylvania and New Jersey“.

Die „Design Engineers“ waren die Consulting Engineers Modjesky & Masters, Harrisburg, Pa., und Ammann & Whitney, New York/N. Y.

Die Stahlkonstruktion, auch für die Landbrücken, lieferte die „Bethlehem Steel Company“. Die Kabel und die Hänger lieferte die „American Bridge Division United States Steel Corp.“.

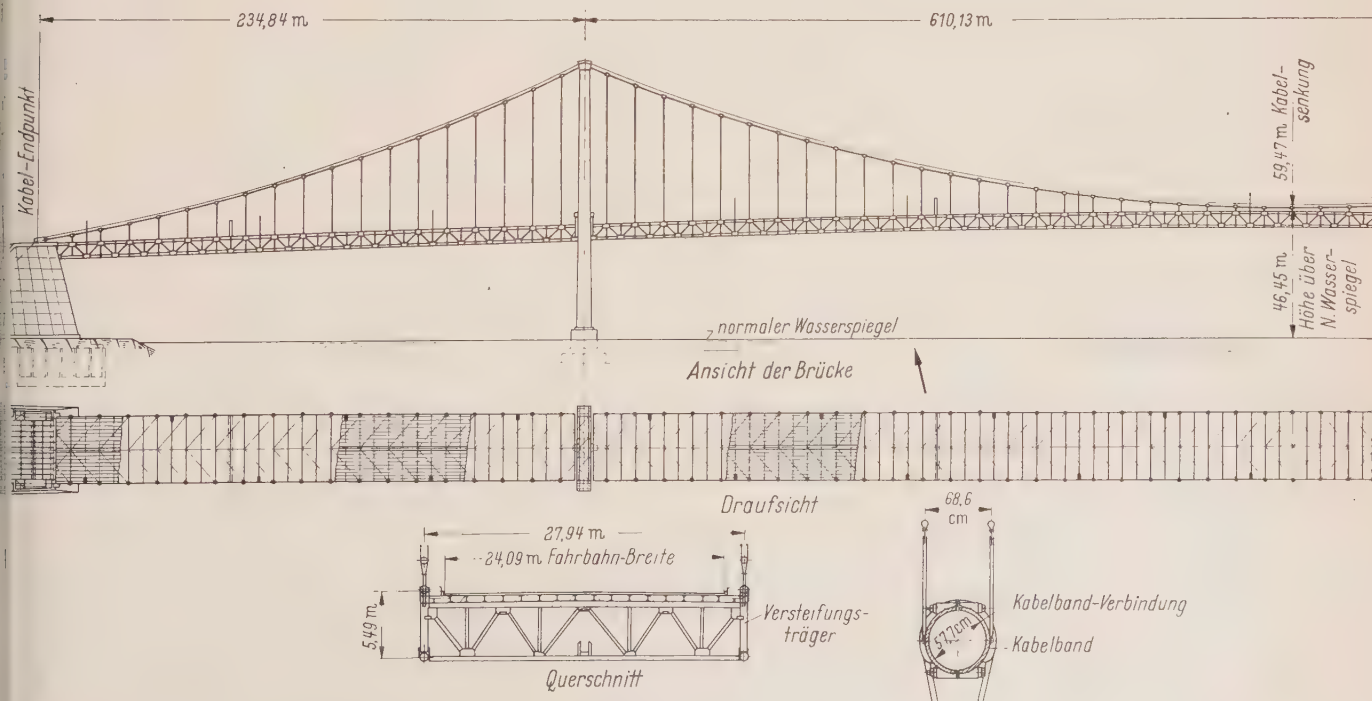


Abb. 14. Ansicht und Fahrbahn.

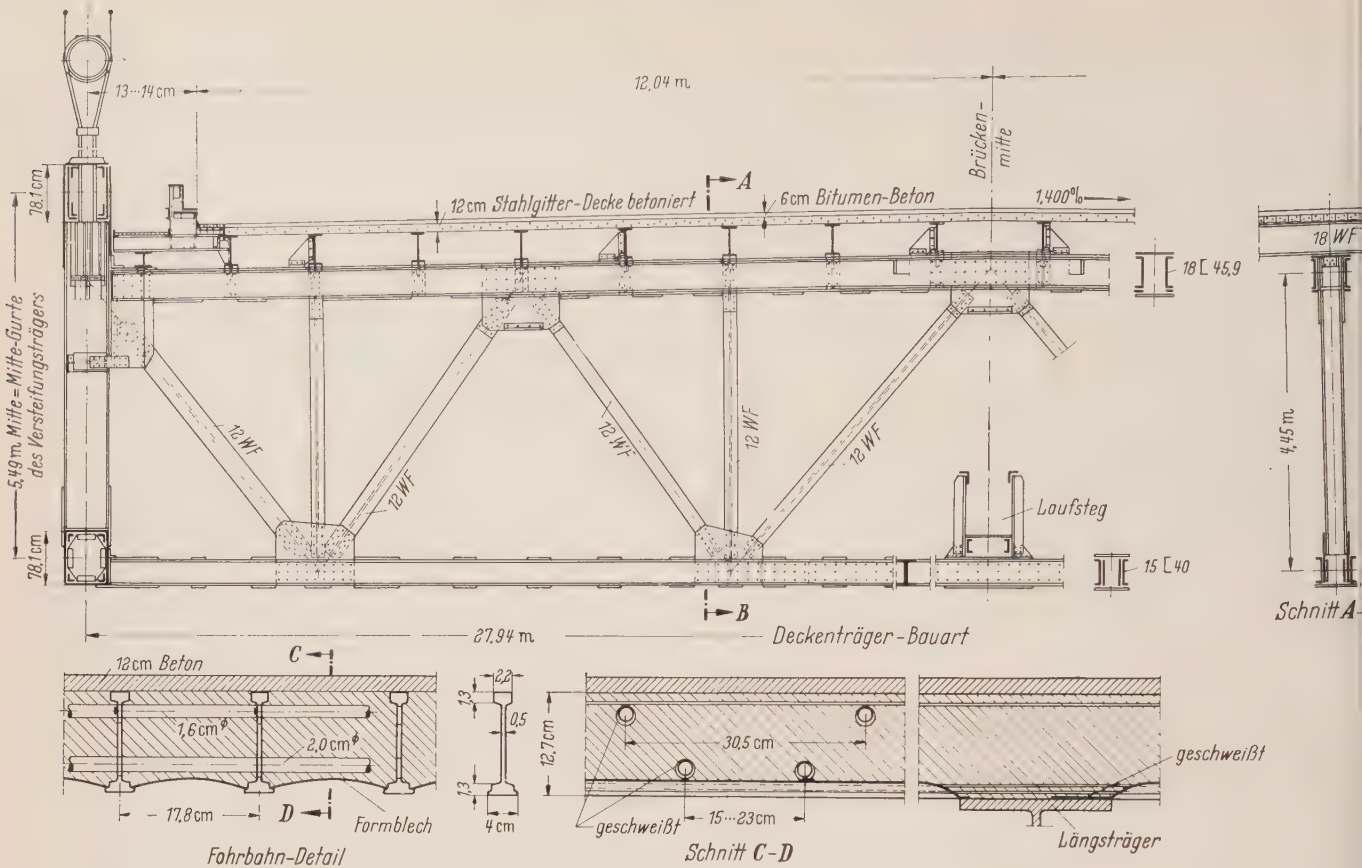


Abb. 15. Querschnitt und Einzelheiten der Fahrbahn.

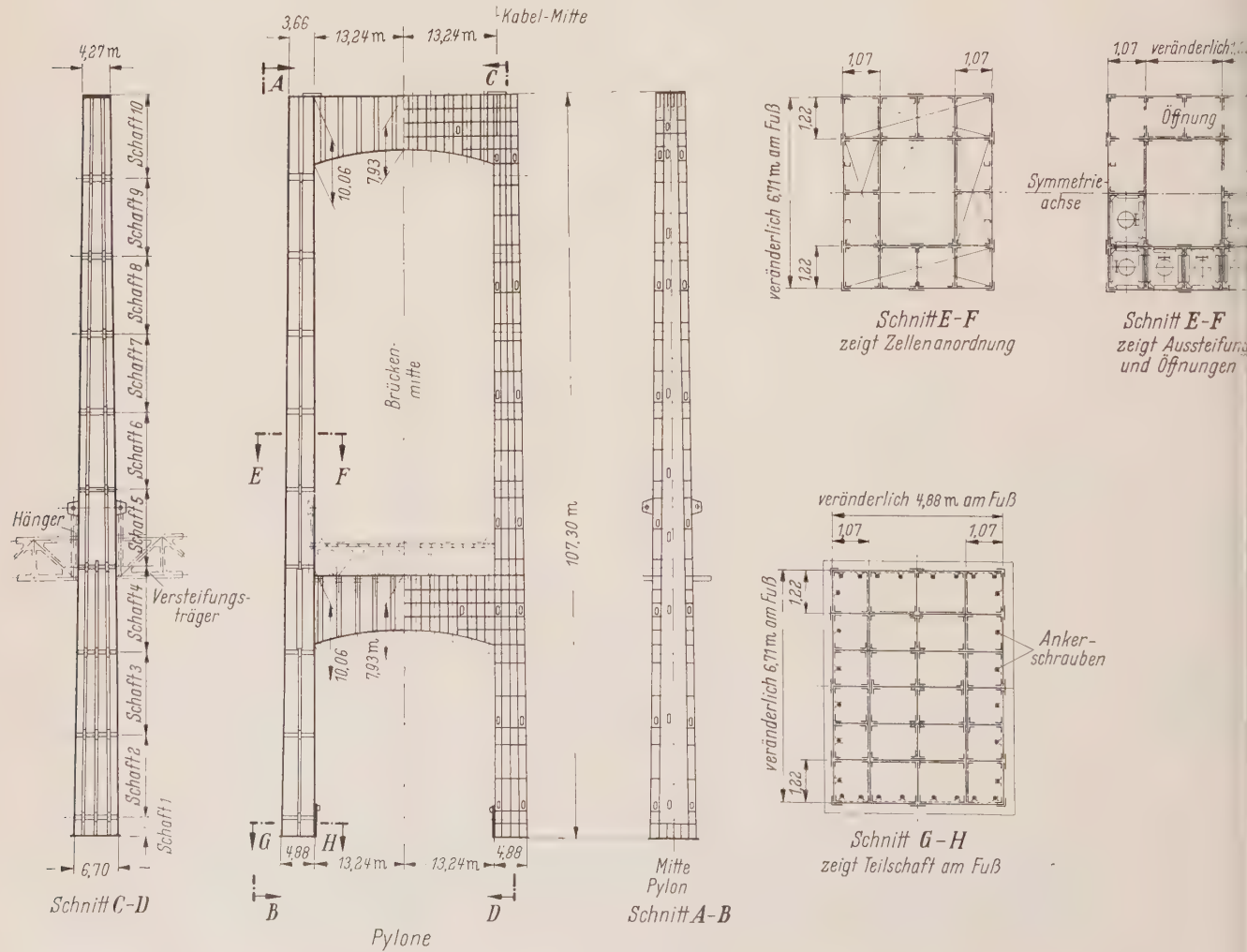


Abb. 16. Pylon.

<sup>1</sup> Arizona, California, Colorado, Idaho, Kansas, Montana, Nebraska, Nevada, New Mexico, North Dakota, Oklahoma, South Dakota, Texas, Utah, Washington und Wyoming.

land). Der trockene „Westen“ umfaßt 4,7 Mio qkm. Auf diese Fläche fallen im Jahr 483,5 Mrd. m<sup>3</sup> Wasser, wovon bisher nur 1/5 genutzt worden sind. In einer Zusammenstellung von 1950 gibt das B. o. R. an, daß von den 4,7 Mio qkm seines Arbeitsgebietes nur 170 262 qkm, d. s. lediglich 3,6 %, durch Bewässerung zu erschließen sind. Der größte Teil dieser erschließbaren Fläche, nämlich 100 645 qkm, ist bereits kultiviert, so daß noch 69 617 qkm übrigbleiben. Alle Kultivierungsarbeiten sind teuer. Um sie zu finanzieren und rentabel zu gestalten, ist 1906 ein Gesetz verabschiedet worden, das dem B. o. R. erlaubt, im Zuge der Errichtung von Bewässerungsanlagen auch Wasserkräfte auszubauen (Mehrzweck-Talsperren). Bis Mitte 1959 werden 7,24 Mio kW installiert sein mit 52 Mrd. kWh Jahresarbeit. Beabsichtigt ist, daß durch den Verkauf elektrischer Energie in Zukunft mindestens 80 % der gesamten Baukosten getragen werden.

Aus den bisherigen Darlegungen geht hervor, daß — wenn man insbesondere die Mehrzweck-Bauten (multiple purpose structures) betrachtet — das C. o. E. und das B. o. R. im Grunde genommen dieselben Arbeiten ausführen. Der Unterschied besteht in der Rangordnung der Aufgaben, wie nachstehende Tabelle zeigt:

| Organisation          | primär                          | sekundär                                                                                        |
|-----------------------|---------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Corps of Engineers    | Hochwasserschutz<br>Schifffahrt | Wasserkraft, Bewässerung,<br>Wasserversorgung,<br>Erholungsstätten                              |
| Bureau of Reclamation | Bewässerung<br>Wasserversorgung | Wasserkraft, Schifffahrt,<br>Hochwasserschutz,<br>Verhütung der Versalzung,<br>Erholungsstätten |

Sowohl das C. o. E. als auch das B. o. R. haben ihre großen Erfahrungen in Vorschriften (guide specifications) und Handbüchern (manuals) niedergelegt, deren sich auch die privaten Ingenieurbüros bedienen. Auf diese Weise entstehen für Ausschreibungen genau festgelegte Konstruktions- und Berechnungsvorschriften, die kaum einen Spielraum zulassen. Es ist deshalb auch nicht verwunderlich, daß bei Ausschreibungen über amerikanische Ingenieurbüros Sonderentwürfe in der Regel unerwünscht sind und nicht angenommen werden.

Einige Besonderheiten beim Ausbau der Wasserkräfte  
in den Vereinigten Staaten von Amerika  
Größe der Wasserturbinen

Im Gegensatz zu Deutschland, dessen letzte Wasserkräfte bald erschlossen sein werden, verfügen die Vereinigten Staaten über einen großen Vorrat ausbauwürdiger hydroelektrischer Energie. Man kann noch aus dem Vollen schöpfen. Anlagen von 1000 MW und mehr sind keine Seltenheit (s. Tabelle 1).

Hoch- und Mitteldruckanlagen überwiegen. Dementsprechend beherrscht die Francisturbine das Feld. Die Tabelle „Typical hydroelectric plants in the United States and Canada“ von 1958 weist 108 Francisturbinen unter insgesamt 134 Anlagen auf. Francisturbinen werden in USA für Fallhöhen bis 300 m und in Ausnahmefällen auch darüber gebaut. Die geschweißte Bauart ist vorherrschend. Größere Laufräder werden zwei- und sogar dreiteilig hergestellt.

| Einzelleistungen von Francisturbinen in USA |                                          |
|---------------------------------------------|------------------------------------------|
| Lewiston (Niagara)                          | 200 000 hp                               |
| Grand Coulee (Columbia)                     | 160 000 hp                               |
| Glen Canyon (Colorado)                      | 155 000 hp                               |
| Hoover Dam (Colorado)                       | bisher 115 000 hp<br>geplant 140 000 hp. |

Niederdruck-Anlagen werden in USA nur dort gebaut, wo sich die Kosten des Grunderwerbes in erträglichen Grenzen halten, oder wo es sich um Mehrzweck-Anlagen handelt, z. B. im Gebiet des Columbia-Flusses (Wash./Ore.). Dort sind allein 6 Anlagen fertig oder im Bau, die doppelt-regulierte 5- bis 7flügelige Kaplan-Turbinen von mehr als 100 000 hp Einzelleistung haben. Die größte Leistung von je 143 000 hp erhalten die Turbinen im Kraftwerk Ice Harbor am Snake-Fluß (Wash.).

Im Columbia River Basin ist man bestrebt, möglichst gleichartige Maschinen zu verwenden, wobei das Kraftwerk Bonneville (10 × 74 000 hp Smith-Kaplan-Turbinen) Vorbild gilt. Kaplan-turbinen werden in USA für Fallhöhen bis etwa 40 m gebaut. Die Schaufeln werden nicht oder höchstens von Hand bearbeitet, dafür werden an der Gießerei entsprechend scharfe Toleranzen auferlegt.

Pumpspeicherwerke zur Veredelung des Nachstromes beginnen sich in USA erst jetzt einzubürgern. Bei dem großen Vorrat an hydraulischer und thermischer Energie war man auf Stromveredelung nicht unbedingt angewiesen. Man geht bei der Pumpspeicherung in USA einen anderen Weg als in Deutschland. Während bei uns ein Aggregat aus der elektrischen Maschine besteht, die teilweise als Motor einen Pumpensatz antreibt oder als Generator von einer Turbine angetrieben wird (Pumpe — Motorgenerator — Turbine), ist in USA auch die hydraulische Maschine (Francis-Bauart) umkehrbar. Die erste große Ausführung eines solchen Satzes: Pumpturbine — Motorgenerator (Reversible Pump Turbine) ist im Kraftwerk Hiwassee der Tennessee Valley Authority eingebaut (Abb. 2). Diese Anlage hat eine als Pumpturbine aus-

Tabelle 1. Große Wasserkraftanlagen.

| Nr. | Jahr der Fertigstellung | Land        | Name                                | Fluß                     | Leistung in MW | Zahl der Turbinen | Stauration in Mrd. m <sup>3</sup> | Kronenlänge in m | Talsperre maximale Höhe in m |
|-----|-------------------------|-------------|-------------------------------------|--------------------------|----------------|-------------------|-----------------------------------|------------------|------------------------------|
| 1   | im Bau                  | USA         | Columbia River Basin                | Columbia und Nebenflüsse | 9.023          |                   |                                   |                  |                              |
| 2   | im Bau                  | Sowjetunion | Krasnojarsk                         | Jenissei                 | 4.004          | 14                | 105,8                             | 701              | 122                          |
| 3   | im Bau                  | Sowjetunion | Bratsk                              | Angara                   | 3.840          | 18                | 179,0                             | 610              | 135                          |
| 4   | 1954                    | Kanada      | Kemano                              | Nechako                  | 2.400          | 8                 |                                   |                  |                              |
| 5   | im Bau                  | Sowjetunion | Stalingrad                          | Wolga                    | 2.300          | 22                | 110,0                             | 5.002            | 36,6                         |
| 6   | im Bau                  | USA         | Lewiston/Tuscarora                  | Niagara                  | 2.200          | 25                | mit Pumpspeicher                  |                  |                              |
| 7   | 1957                    | Sowjetunion | Kuibyschew                          | Wolga                    | 2.100          | 20                | 51,8                              | 5.838            | 30,5                         |
| 8   | 1942                    | USA         | Grand Coulee *                      | Columbia                 | 1.974          | 18                | 11,6                              | 1.273            | 169                          |
| 9   | 1959                    | USA/Kanada  | Robert Moses/<br>Robert H. Saunders | St. Lorenz               | 1.880          | 32                |                                   |                  |                              |
| 10  | 1958                    | Kanada      | Sir Adam Beck<br>G. S. Nr. 1 u. 2   | Niagara                  | 1.762          | 16                | mit Pumpspeicher                  |                  |                              |
| 11  | 1936                    | USA         | Hoover                              | Colorado                 | 1.249          | 18                | 37,8                              | 379              | 221                          |

\* ist in Nr. 1 mit enthalten. Das Talsperren-Kraftwerk Grand Coulee ist gebaut und wird betrieben vom Bureau of Reclamation. Die meisten der anderen Kraftwerke, die in den letzten Jahren im Columbia River Basin gebaut wurden oder im Bau sind, unterstehen dem Corps of Engineers: Mc Nary (1953), Chief Joseph (1955), The Dallas and Dallas Fishway (1957), Ice Harbor (1961).

gebildete Einheit, die als Turbine 80 000 hp leistet und nach Umschaltung als Pumpe von dem 102 000-hp-Synchron-Motor angetrieben 110 m<sup>3</sup>/s Wasser fördert. Die

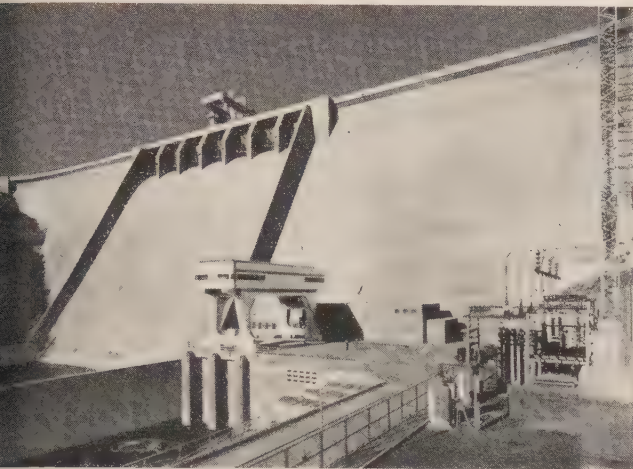


Abb. 2. Kraftwerk Hiwassee der TVA.  
Eines der beiden Aggregate ist eine umkehrbare Pump-Turbine.

Pumpspeicherung in Hiwassee wirkt sich in den Wintermonaten so aus, als hätte das Kraftwerk eine zusätzliche Leistung von 8500 kW. Der Wirkungsgrad wird in beiden Richtungen zu 0,90 angegeben.

Weitere Pumpspeicherwerke sind am Niagara fertig oder im Bau: das kanadische Kraftwerk „Sir Adam Beck No. 2“ hat eine zusätzliche Speichermöglichkeit von 70 MW und das Werk Tuscarora auf der USA-Seite bekommt 240 MW.

In konstruktiver Hinsicht ist bemerkenswert, daß die Stahlkonstruktionen bei Wasserkraftanlagen (Wehrschlüsse, Krane, Antriebe usw.) in USA in der Regel schwerer und überschlägig um  $\frac{1}{3}$  höher im Gewicht sind als in Deutschland. Der wesentliche Grund liegt darin, daß die Materialkosten in USA nicht die große Rolle spielen wie bei uns; man denkt grundsätzlich bei allen Konstruktionen in Richtung der Sicherheit und läßt nur geringere Beanspruchungen zu als in Deutschland. „No problems, no trouble“ ist der oberste Konstruktionsgrundsatz, d. h. man erstrebt einfache, klare, übersichtliche und unproblematische Lösungen, die später keinen Anlaß zu Schwierigkeiten, Beanstandungen und Ärger geben. Deshalb geht man auch mit der theoretischen Durchdringung und der daraus zu ziehenden Nutzenwendung lange nicht so weit wie in Deutschland. Es wird ein ziemlich strenger Unterschied zwischen „theory“ und „application“ gemacht. Auf der anderen Seite ist man aber vielfach auch großzügiger als bei uns; bei Wehrverschlüssen z. B. muß nicht jeder Verschluss einen eigenen Antrieb haben; beim Kraftwerk Fort Loudon (TVA) bedienen 2 Wagen je 7 Verschlüsse.

#### Wasserkraft — Wärmekraft — Atomkraft

Man versucht beim Ausbau von Wasserkräften möglichst mehrere Zwecke miteinander zu verknüpfen. Dadurch erhält man nicht nur die Ausbaukosten der Wasserkraft, sondern die Wasserkraft trägt auch durch den Verkauf des elektrischen Stromes am meisten zur Amortisation bei. Für ein Projekt im Central Valley (Calif.) gilt folgende Wirtschaftlichkeitsberechnung:

| Nutzung          | Gestehungskosten | Einnahmen in 40 Jahren |
|------------------|------------------|------------------------|
| Bewässerung      | 5 Mio \$         | 2 Mio \$               |
| Wasserkraft      | 4 Mio \$         | 7 Mio \$               |
| Hochwasserschutz | 0,5 Mio \$       | —                      |
| Erholung         | 0,5 Mio \$       | —                      |
| Fischzucht       |                  |                        |
| Wildhege         |                  |                        |
| Gesamt           | 10 Mio \$        | 9 Mio \$               |

In 40 Jahren sind also 9 von 10 Mio \$ zurückbezahlt. Die Kosten für Hochwasserschutz, Erholung usw. tilgt man in USA in der Regel nicht.

Neben Wasserkräften verfügen die Vereinigten Staaten über reichliche Vorräte an fossilen Brennstoffen (Kohle, Öl, Erdgas). Die Wärmekraft deckt den Energiebedarf zu  $\frac{4}{5}$ ; in einzelnen Teilen des Landes ist aber auch der Anteil der Wasserkraft an der Energie-Erzeugung beachtlich hoch, wie z. B. nachstehende Aufstellung für das Tennessee-Tal (Jahr 1958) zeigt:

|                  | Leistung in Mio kW | Jahresarbeit in Mrd. kWh |
|------------------|--------------------|--------------------------|
| Wasserkraftwerke | 3,73               | 19,3                     |
| Wärmekraftwerke  | 6,49               | 41,5                     |
| Zusammen         | 10,22              | 60,8                     |

Die Leistungen der Dampfturbinen in USA betragen heute 175—350 MW je Aggregat; in der Planung sind Maschinen mit 500 MW Einzelleistung.

Sowohl bei Wasser- als auch bei Wärmekraftanlagen setzt sich die offene Bauweise (no dog house) immer mehr durch. Abb. 3 zeigt die Wasserkraftanlage Wheeler



Abb. 3. Kraftwerk Wheeler der TVA. Flachbauweise.

(TVA) mit 8 Turbinen von zusammen 259 MW Leistung (Flachbauweise) und Abb. 4 das moderne Dampfkraftwerk Alamosa der Southern California Edison Company, Los Angeles, mit zwei Dampfturbinen von zusammen 350 MW.

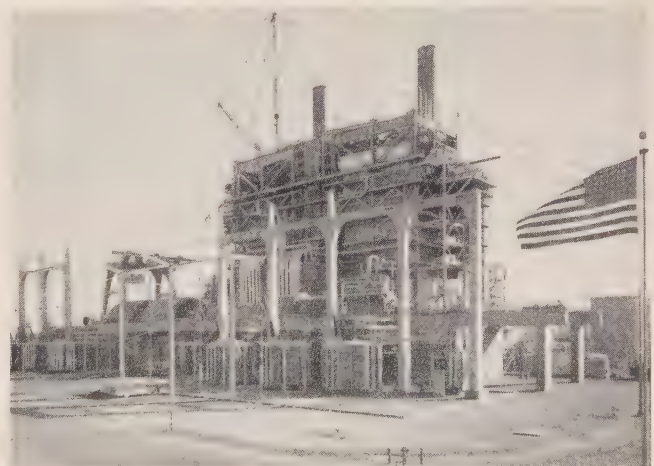


Abb. 4. Wärmekraftanlage Alamosa der Southern California Edison Company. Offene Bauweise.

Die offene Bauweise beim Kraftwerk Alamosa ist teilweise durch die Erdbebengefahr geboten. Klimatisch sind die Vorbedingungen für die offene Bauart jedoch keineswegs günstig, da in Los Angeles immer starker Dunst

und Rauch (smofog) herrscht; außerdem ist die Luft am Pazifik feucht und salzhaltig.

Als neuester Energieträger und Sonderfall der Wärme-kraft bietet sich die Atomenergie an. Ohne Zweifel ist man in USA auf diesem Gebiet sehr weit fortgeschritten, denn es sind schon einige hundert Millionen Dollar für Forschungszwecke ausgegeben worden. Nach dem Stand vom März 1958 arbeiten in USA 123 Gesellschaften an der Entwicklung von 12 Forschungs- und 15 Leistungsreaktoren. Bis 1962 sollen 815 MW Atomenergie installiert sein. Das Ziel ist dabei, die technisch und wirtschaftlich besten Reaktor-Typen zu finden.

Im übrigen urteilt man in den USA sehr vorsichtig und zurückhaltend über die Zukunft der Atomkraft, denn man ist bei den reichen Reserven an konventionellen Energieträgern in keiner Zwangslage und gibt offen zu, daß alle Angaben über die Wirtschaftlichkeit der Atomenergie unsicher und verfrüht sind.

### Das hydraulische Versuchswesen

Nach dem ersten Weltkrieg entdeckten die Amerikaner, daß Deutschland einen großen Vorsprung auf dem Gebiet des hydraulischen Versuchswesens hatte. Um aufzuholen,



Abb. 5. Hauptversuchsanstalt des Corps of Engineers in Vicksburg (Miss.).  
Versuchsareal 202 ha.

wurden einerseits deutsche Wissenschaftler nach USA eingeladen und andererseits amerikanische Ingenieure und Professoren durch die Freeman-Scholarship nach Deutschland und anderen europäischen Ländern geschickt, um dort das hydraulische Versuchswesen an der Quelle zu studieren. Heute gibt es in USA 111 hydraulische Versuchsanstalten, die in dem Jahrbuch „Hydraulic Research in the United States“ über ihre Tätigkeit berichten. Neben Hochschulen und ähnlichen Institutionen haben auch das B. o. R. und das C. o. E. eigene Versuchsanstalten. Die führende Versuchsanstalt (Abb. 5) des C. o. E. ist Vicksburg (Miss.) mit ihrer Außenstelle Jackson (Miss.). Die deutsche Beratung beim Ausbau von Vicksburg in den Jahren 1925 bis 1935, insbesondere die Ratschläge von H. Engels, Dresden, werden heute noch dankbar erwähnt. In Jackson ist auf 89 ha Fläche ein Freiluft-Modell des Mississippi-Gebietes von Minneapolis bis New Orleans aufgebaut (horizontaler Maßstab 1:2000, vertikaler Maßstab 1:100), das hauptsächlich der Hochwasservorhersage dient und beim letzten Hochwasser 1956 vorzügliche Dienste geleistet hat.

Zur Untersuchung an Maschinen (Turbinen und Pumpen), insbesondere im Hinblick auf die Wirkungsgrad-Garantien, verfügen die Firmen über leistungsfähige Ver-

suchsstände, die oft mitten in den Werkstätten liegen, und die Prüflingen in Verbindung mit der Fabrikation halten. Als höchster in einer Wasserkraftanlage gemessener Wirkungsgrad wurde dem Verfasser der Wert 0,947 angegeben, wobei aber hinzugefügt wurde, daß man diesen Wert „nur im Flüsterton“ nennen solle.

### Einige bedeutende Wasserkraftanlagen

#### 1. Die Kraftwerke an den Niagara-Fällen

Zwischen Erie- und Ontario-See ist ein Höhenunterschied von 99,4 m, der vom 56 km langen Niagara-Fluß überwunden wird. Etwa in der Mitte liegen die berühmten Wasserfälle. Kaum ein anderer Fluß hat so günstige Voraussetzungen zum Ausbau einer Wasserkraft wie der Niagara: als Abfluß von 4 großen Seen (226 635 qkm) ist die Wasserführung des Niagara sehr gleichmäßig; das Gefälle ist bei den Wasserfällen konzentriert und das Absatzgebiet für die elektrische Energie liegt unmittelbar an der Erzeugungstätte (Aluminium-Industrie). Da die Grenze zwischen USA und Kanada (International Boundary) im Niagarafluß verläuft, haben von Anfang an beide Staaten den Ausbau der Wasserkraft des Niagaraflusses betrieben. Die ersten Kraftwerke entstanden 1881 auf der amerikanischen und 1901 auf der kanadischen Seite. Ein großes Werk auf der kanadischen Seite, „Sir Adam Beck G. S. Nr. 1“ mit einer Leistung von 392 MW in 10 Einheiten, entstand vom Jahr 1917 an. Das Kraftwerk wurde in einzelnen Abschnitten gebaut und 1930 vollendet. Durch Vertrag zwischen USA und Kanada vom 10. Oktober 1950 (Niagara Diversion Treaty) wurde beschlossen, den Niagarafluß so weit auszubauen, als es mit Rücksicht auf den Schutz des Naturwunders noch erlaubt schien. Unmittelbar nach Abschluß des Vertrages von 1950 begannen die Arbeiten auf der kanadischen Seite. Es werden dort 89 m der Spiegeldifferenz zwischen Erie- und Ontario-See ausgenutzt. Das neu erstandene Kraftwerk „Sir Adam Beck G. S. Nr. 2“ ging 1954 mit 7 Maschinen von je 105 000 hp in Betrieb; 1956 kamen 5 weitere gleich große Einheiten dazu und 1957/58 wurden nochmals 4 große Aggregate aufgestellt, so daß nun eine Leistung von

1200 MW installiert ist. Gleichzeitig wurde die Anlage noch durch ein Pumpspeicherwerk mit einem Becken von 20 Mio m<sup>3</sup> Nutzinhalt erweitert. Damit ist eine zusätzliche Leistung von 170 MW möglich. Das Pumpspeicherwerk wird von 6 umkehrbaren Pumpturbinen betrieben. Jeder Maschinensatz ist für  $H = 23$  m ausgelegt, fördert  $Q = 130$  m<sup>3</sup>/s und hat eine Pumpleistung von 55 000 kW. Die Pumpzeit ist etwa 7—8 Stunden; der Generatorbetrieb dauert 4 Stunden.

Mit den angegebenen Werten beträgt die gesamte Leistung der Kraftwerke „Sir Adam Beck G. S. No. 1 und 2“: 1762 MW. Eine Übersicht über die Kraftwerksanlage vermittelt Abb. 6. Technisch interessant ist, daß die 1. und 2. Anlage sich in Punkt A — einem offenen Kanalstück — kreuzen. Von dort aus wird auch das Wasser in das Speicherbecken gepumpt. Um das Wasser günstig in das Ablaufbauwerk für „Sir Adam Beck 2“ zu leiten, sind 13 Fischbauchklappen (je 30 m lang und 3,15 m hoch) auf einer Länge von 450 m quer in den Niagarafluß hineingebaut. Die Klappen sind von Canadian Vickers, Limited, Montreal, in Zusammenarbeit mit der MAN., Werk Gustafburg, gebaut worden.

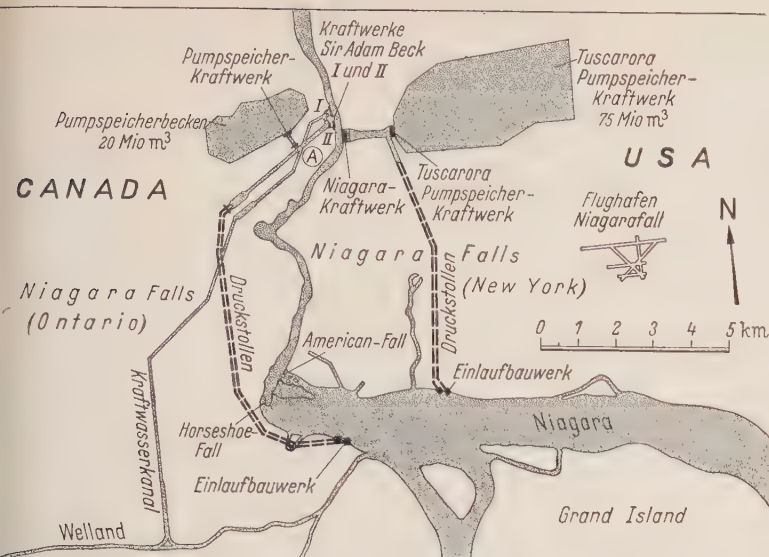


Abb. 6. Kanadischer und amerikanischer Gesamtausbau des Niagara-Flusses.

Ein Gegenstück zu dem Werk auf der kanadischen Seite des Niagaraflusses entsteht gegenwärtig auf der amerikanischen Seite. Die große Verzögerung rührt daher, daß man



Abb. 7. Hauptkraftwerk auf der USA-Seite des Niagara-Flusses. Fertigstellung 1962.

in USA nicht schlüssig werden konnte, wer der Bauherr sein sollte (der Bund, der Staat New York oder ein privates Konsortium). Nach 7 Jahren wurde der Kampf endlich zugunsten der Power Authority of the State of New York entschieden und Mitte 1958 mit dem Bau der Anlage bei Lewiston gegenüber der Sir Adam Beck-Kraftwerksgruppe begonnen. Die Beratung und Aufsicht hat das C. o. E. Die Fertigstellung des amerikanischen Kraftwerkes, das mit dem Tuscarora-Becken (75 Mio m<sup>3</sup>) ebenfalls eine zusätzliche Pumpspeicheranlage erhält, ist für Juli 1962 vorgesehen. Das Kraftwerk auf der USA-Seite erhält 13 Maschinensätze von je 200 000 hp Leistung (Abb. 7). Die Fallhöhe ist  $H = 91,5$  m, die Leistung beträgt 1940 MW. Für das Pumpspeicherwerk werden 12 umkehrbare Pumpenturbinen eingebaut, die als Francis-turbinen je 8 000 hp leisten und als Pumpen je 37 500 hp. Sie sind ausgelegt für  $Q = 66$  m<sup>3</sup>/s und  $H = 26$  m. Die Gesamtleistung im amerikanischen Niagara-Kraftwerk beträgt rd. 2200 MW. Der amerikanische und kanadische Kraftwerksblock am Niagara vereinigt also eine hydroelektrische Leistung von mehr als 4000 MW. Dies ist die größte Leistung, die bisher an einer Stelle vereinigt wurde.

## 2. Der St. Lorenz-Seeweg (St. Lawrence Seaway)

Trotz vieler Schiffs-Hindernisse ist der St. Lorenz-Strom die meistbefahrene Wasserstraße des amerikanischen Kontinents. Sein großer Mündungstrichter geht bis Quebec, die Seeschifffahrt bis Montreal. Der St. Lorenz-Strom entwässert ein Gebiet von 1736 Mio qkm. 75 % davon liegen auf kanadischem Boden, 25 % auf dem Territorium der USA. Allein die 5 Großen Seen machen 245 000 qkm (d. i. die Größe der Bundesrepublik) aus. Sie ver gleichmäßigen den Abfluß so sehr, daß der St. Lorenz-Strom die regelmäßigste Wasserführung aller Flüsse hat. Im 97-jährigen Beobachtungszeitraum ergaben sich folgende Werte: HHQ = 8900 m<sup>3</sup>/s, MQ = 6680 m<sup>3</sup>/s. und NNQ = 4060 m<sup>3</sup>/s. Dies führt zu dem außer gewöhnlich günstigen Wert HHQ : NNQ = 2,18<sup>2</sup>.

Nachteilig beim St. Lorenz-Strom ist — außer den noch vorhandenen Schiffs-Hindernissen — die lange Vereisung (1. Dezember bis 1. April).

Das unangenehmste und gefährlichste Hindernis sind die „International Rapids“ bei Cornwall-Massena. Der Kanal, der dieses Schiffs-Hindernis beseitigt, ist der St. Lawrence Seaway im engeren Sinne (Bild 8).

Wie beim Ausbau der Niagara-fälle handelt es sich auch hier um ein Gemeinschaftsprojekt, bei dem wiederum Kanada die Initiative ergriffen hat. Der Gedanke geht bis 1895 zurück; 1932 lag von Kanada ein vollständiger Plan vor, aber die USA ratifizierten nicht. Auch das „International Agreement“ von 1941 scheiterte. Als Kanada drohte, den St. Lawrence Seaway allein und dann auf der kanadischen Seite zu bauen, kam endlich 1952 eine Verständigung mit der USA zustande. Die Schwierigkeiten auf amerikanischer Seite kamen von drei Stellen: den Eisenbahn-Gesellschaften, den Häfen an der Ostküste, insbesondere New York und — so seltsam es klingt — auch von der Mississippi-Schifffahrt. Diese Widerstände sind verständlich, denn nach Ausbau des St. Lawrence Seaway können die Städte an den Großen Seen, insbesondere Chicago, von Seeschiffen bis 25 000 t angelaufen werden (Seeweg Montreal—Chicago: rd. 2000 km; Atlantischer Ozean—Chicago: 3600 km). Entscheidend für den amerikanischen Ent-

<sup>2</sup> Als Vergleich möge dienen, daß der Rhein bei Mainz einen Wert HHQ : NNQ = 13,5 hat.



Abb. 8. St. Lawrence Seaway.

schluß zum Ausbau des Seeweges war vor allem die Sorge um die künftige Erzversorgung für die Stahlwerke von Chicago (Jahresproduktion 18 Mio t) und anderer Städte. Die Stahlwerke wurden bisher aus den Erzgruben am Lake Superior (Mesabi) über die Häfen Duluth (Minn.) und Superior (Wisc.) versorgt. Die Erze um den Oberen See gehen aber allmählich der Erschöpfung entgegen. Neue Lagerstätten bester Erze sind seit 1948 in Labrador (Ungava) erschlossen worden und können in Zukunft auf dem St. Lorenz-Strom zu den Stahlwerken transportiert werden.

Zur Überwindung der „International Rapids“ wurde auf amerikanischem Gebiet der 16 km lange Wiley-Dondero-Schiffahrtskanal (früher Long Sault Kanal) mit 135 m Breite und einer Mindesttiefe von 8,2 m gebaut (Abb. 8). Den Höhenunterschied von 27,1 m überwinden 2 gleiche

einer Höhe von 26,5 m. 30 Schütze können mehr als die gesamte Hochwassermenge des St. Lorenz-Stromes abführen.

### 3. Die Tennessee Valley Authority (TVA)

In der Zeit der schwersten Wirtschaftskrise verabschiedete der Kongreß am 18. 3. 1933 ein Gesetz zum Ausbau des Tennessee-Tales. Schon Jahre zuvor hatte die C. o. E. Studien darüber gemacht, wie man dieses arm vom Hochwasser immer wieder heimgesuchte Tal kultivieren und das Notstandsgebiet sanieren könnte. Da sich das rd. 100 000 qkm große Tennessee-Gebiet über 7 Staaten mit verschiedener Gesetzgebung und verschiedenem Wasserrecht erstreckt und Geldmittel in der Zeit der „Great Depression“ knapp waren, mußte der Bund eingreifen. Im Rahmen der New Deal, der neuen Wirtschaftsform des

Präsidenten Franklin D. Roosevelt wurde zur Durchführung der Arbeiten nach den Plänen des C. o. E. eine besondere Bundesbehörde, die Tennessee Valley Authority (TVA), gegründet. Die Untersuchungen ergaben, daß das Problem am besten im Rahmen eines Mehrzweckprogramms zu lösen war: Hochwasserschutz, Schiffbarmachung des Tennessee von Paducah (Mündung in den Ohio) bis Knoxville (1000 km), Ausbau der Wasserkrafte des Tennessee, Rückhaltebecken (15 Mrd. m<sup>3</sup>) und Ausbau der Wasserkrafte in den Nebenflüssen (Abb. 9). Verbesserung der Land- und Forstwirtschaft und nicht zuletzt die Schaffung von Erholungsstätten für Wassersport, Angeln und Jagd. Dazu kam der Wunsch, Industrie anzusiedeln, nachdem schon im ersten Weltkrieg in Muscle Shoals (Ala.) ein hoffnungsvoller Anfang gemacht worden war. Der Versuch, ein Mehrzwecksystem im Tennessee-Tal zu schaffen, ist so mustergültig gelungen, daß er heute als großer nationaler Erfolg und Vorbild für die ganze Welt gilt. Allein im Jahre 1957 kamen Besucher aus 78 Ländern, um die Einrichtungen der TVA kennenzulernen. Die einzelnen Bauten sind in der Fachliteratur so oft und eingehend beschrieben worden, daß es sich erübrigt, hier näher darauf einzugehen. Der Verfasser kann sich auf einige allgemeine Bemerkungen beschränken. Insgesamt sind im Hauptfluß (bis Knoxville) 9 Kraftwerke mit Schleusen vorhanden und 26 weitere mit kleineren oder größeren Talsperren in den Nebenflüssen, die aus den Apalachen kommen.

Die älteste, aber heute doch größte Wasserkraftanlage ist der Wilson-Dam mit 436 MW installierter Leistung. Er wurde 1918 „für Zwecke des ersten Weltkrieges“ begonnen und 1925 vollendet (Abb. 10). 1933 erwarb ihn die TVA vom Kriegsministerium. Der Wilson-Dam hat eine größte Höhe von 41,8 m und 50 Hochwasserüberläufe. Zur Überwindung des Höhenunterschiedes am Wilson-Dam ist gegenwärtig eine einstufige Schleuse im Bau (Abb. 11). Sie ist die zur Zeit höchste einstufige Schleuse der Welt.

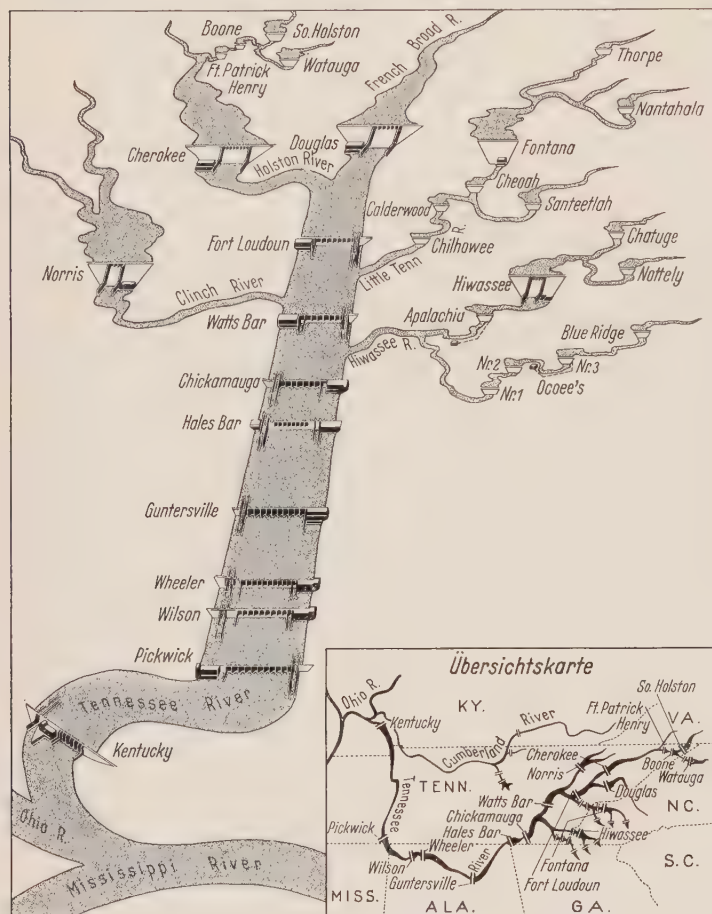


Abb. 9. Wasserkraftwerke der TVA.

Schleusen mit den Abmessungen 244 m × 24,4 m × 9,15 m, die sowohl für Ozeanschiffe als auch für die auf den Großen Seen verkehrenden 25 000 t großen Lakers geeignet sind.

Die Fülldauer der Schleusen beträgt nur 15 bis 16 Minuten. Die auf die Natur umgerechneten Modellversuche des C. o. E. ergaben 18 Minuten. Die oberstromige Schleuse führt den Namen Dwight D. Eisenhower und überwindet 12,8 m Höhe, die unterstromige ist jetzt nach Bertrand H. Snell benannt. Sie überwindet einen Höhenunterschied von 14,3 m (Abb. 8).

Im Kraftwerk Robert Moses and Robert H. Saunders, auf der Internationalen Grenze zwischen Kanada und USA gelegen, sind 32 Propellerturbinen mit festen Laufradschaufeln eingebaut. Einzelleistung: 85 000 hp bei  $H = 26,5$  m; Gesamtleistung des Kraftwerkes: 1880 MW.

Zur Abführung des Überschußwassers dient der Long Sault Spillway Dam mit einer Länge von 888 m und

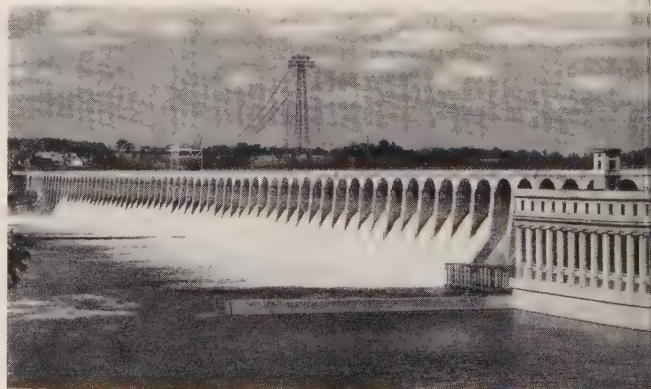


Abb. 10. Wilson-Talsperre der TVA.

Obleich das Projekt der TVA anfänglich ein ausgesprochenes Notstandsprogramm war, wurde doch immer darauf geachtet, daß die Anlagen einen maximalen Nutzen bewarfen. Darüber muß die Gesellschaft jährlich Rechenschaft ablegen. Trotzdem wird die TVA immer wieder von

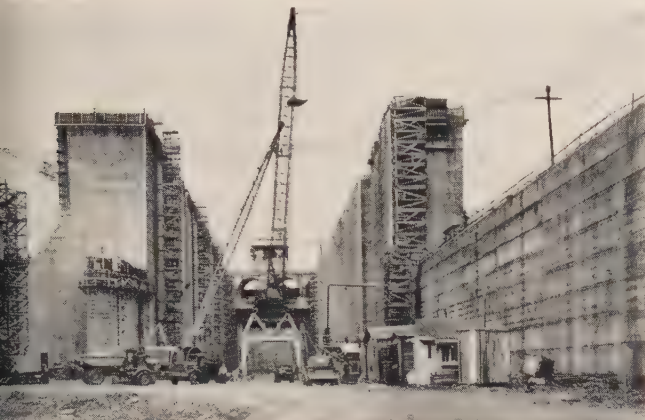


Abb. 11. Neue Schleuse an der Wilson-Talsperre. Z.Z. höchste einstufige Schleuse der Welt (30,5 m). Bauzustand Oktober 1958.

privaten und staatlichen Organisationen angegriffen und es gibt sogar eine Reihe von „Anti-TVA“-Veröffentlichungen, z. B. „Is TVA parasitical?“. Man erkennt daraus das Mißtrauen, das man in USA in Friedenszeiten allen Lenkungen und Eingriffen durch die Bundesregierung entgegenbringt. Deshalb ist es auch nicht geglückt, im Gebiet des Columbia-Flusses eine ähnliche Organisation (Columbia Valley Authority) zu gründen, wie im Tennessee-Tal.

Ein wichtiger Angriffspunkt gegen die TVA entstammt der grundsätzlichen amerikanischen Auffassung, daß der Staat nicht als Konkurrent der Privatwirtschaft auftreten darf, d. h. der Staat soll selbst nicht produzieren. Die TVA entrichtet keine Abgaben an den Bund (federal taxes), weil das gesamte Einkommen — 1952 waren es 26 % der Bruttoeinnahmen der Stromerzeugung — Eigentum des Bundes ist. Auf diese Weise hat die TVA bis 1957 den Betrag von 216,5 Mio \$ an den Bund zurückbezahlt. Man muß ferner berücksichtigen, daß die TVA mit ihrem Mehrzweck-System viele Erschließungsarbeiten (Sozialarbeiten) geleistet hat und noch leistet. 1933 waren nur 3 % der landwirtschaftlichen Betriebe mit Elektrizität versorgt, heute sind es 90 %. Durch die Eindämmung der Hochwasser und die Belieferung der Landwirtschaft mit hochwertigem Düngemittel lassen sich in vielen Gegenden jährlich zwei Ernten ermöglichen. Ebenso sind Forstwirtschaft und Wildgehege erheblich verbessert worden, nicht zuletzt durch die von der TVA errichteten Forschungs- und Beratungsinstitute. In dem früher so armen Tennessee-Tal hat sich heute eine blühende Industrie angesiedelt (Aluminium, Düngemittel, Atomzentrum). Für diese Industrie reichte die Wasserkraft nicht mehr aus, so daß Wärmekraft herangezogen werden mußte. Überall in der Gegend steht heute an, die großenteils auf dem Wasserwege zu den Kraftwerken transportiert werden kann. Heute liegt sogar das Schwergewicht auf den 7 Dampfkraftwerken, die mit hohen Wirkungsgraden arbeiten (bis 0,39). Seit 1954 sind die Wasserkraften mehr im Gebiet der TVA ausgebaut worden.

Der Einsatz der 35 Wasserkraft- und 7 Dampfkraftanlagen der TVA wird zentral über eine elektronische Rechenmaschine IBM 704 in Chattanooga gesteuert, welche die Werke nach dem Prinzip der größten Wirtschaftlichkeit einsetzt.

Daß die TVA Dampfkraftwerke errichtet hat, ist der letzte Angriffspunkt von seiten der privaten Unternehmungen. Der Bund hat die Genehmigung hierzu auch nur unter der Bedingung erteilt, daß ihm keine Lasten entstehen; die Kraftwerke mußten aus eigenen Einnahmen

finanziert werden. Ohne die Wärmekraftwerke wäre aber eine Ansiedelung von Großindustrie im Tennessee-Tal nicht möglich gewesen, und auch die Amortisation des ganzen Mehrzwecksystems hätte sich wesentlich ungünstiger gestaltet, wie nachstehende Tabelle zeigt:

| Zweck            | Kostendeckung       |                           |
|------------------|---------------------|---------------------------|
|                  | nur aus Wasserkraft | aus Wasser und Wärmekraft |
| Hochwasserschutz | 31 %                | 9 %                       |
| Schifffahrt      | 27 %                | 8 %                       |
| Energieerzeugung | 42 %                | 83 %                      |
|                  | 100 %               | 100 %                     |

#### 4. Einige Anlagen des Bureau of Reclamation

In den heißen Stein- Sand- und Salzwüsten von Utah, Nevada und Arizona ist die einzige bedeutende Wasserader der Colorado-Fluß. Er entspringt in 1150 m Höhe und mündet in den Golf von Kalifornien. Auf seinem Lauf durchbricht er einige Plateaus: das Glen Canyon, Grand Canyon und Boulder Canyon. 1936 wurde das



Abb. 12 Hoover-Talsperre am Colorado-Fluß.

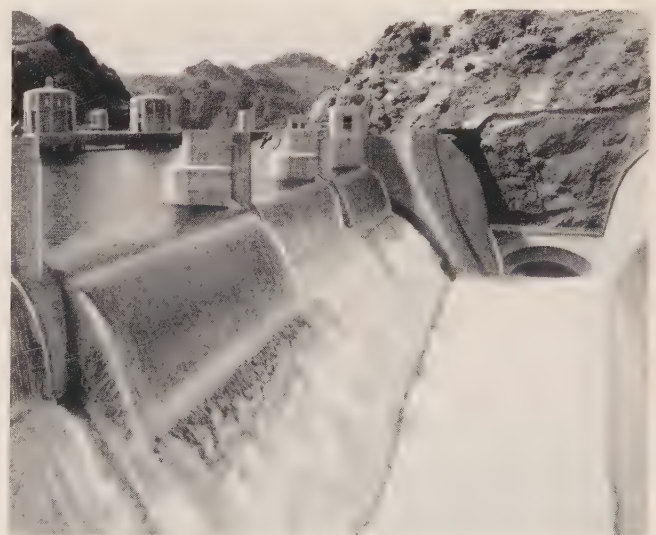


Abb. 13. Hochwasserentlastung an der Hoover-Talsperre. (Sektorwehre).

Boulder Canyon durch den Hoover Dam, eine der größten Talsperren der Welt (Bogenstaumauer von 221,5 m Höhe) — Abb. 12 und 13 —, abgeschlossen. Der dadurch entstandene Stausee, Lake Mead, nimmt bei voller Füllung eine Fläche von 660 qkm ein (Bodensee 580 qkm) und hat

einen nutzbaren Speichereinhalt von 38,4 Mrd. m<sup>3</sup>. Das aus zwei getrennten Maschinenhäusern bestehende Kraftwerk, von denen das eine in Nevada, das andere in Arizona liegt, hat gegenwärtig eine installierte Leistung von 1249 MW und soll auf 1354 MW erweitert werden.

Vom Inhalt des Stausees müssen 11,7 Mrd. m<sup>3</sup>, d. i.  $\frac{1}{3}$ , für den Hochwasserschutz frei gehalten werden. Ein anderer Teil des Wassers dient der Versorgung der Städte Boulder City und Las Vegas. Die Stadt Las Vegas wurde 1905 als Versorgungs- und Stützpunkt (Division Point) der Union Pacific Railroad gegründet und konnte wegen der Knappheit an Wasser keine größere Einwohnerzahl als 5000 aufnehmen. Erst seit Vollendung der Hoover-Talsperre war es möglich, Wasser aus dem Stausee zu entnehmen, so daß die Einwohnerzahl jetzt (1958) rd. 35 000 beträgt. Ein weiteres Ansteigen hängt ganz davon ab, wieviel Nutzwasser aus dem Lake Mead zur Verfügung gestellt werden kann.

Die Hoover-Talsperre ist in den Jahren 1928—1936 erbaut worden, also gerade in der Zeit der Weltwirtschaftskrise. Man ist deshalb verwundert, daß alle Bauteile sehr reichlich dimensioniert und für unsere Begriffe oft luxuriös ausgestattet sind, als hätte man in einer Zeit des Überflusses gebaut. Dem Besucher fallen — wie auch bei der Schleuse am Wilson Dam und an anderen Bauten — die ungewöhnlich sauberen Sichtflächen des Betons auf. Ebenso fällt auf, daß in den sehr langen Kabelgängen die Fliesen schnurgerade verlegt sind, und zwar so, daß keine Kachel vor- oder zurücksteht.

Es ist ferner zu bemerken, daß im Rahmen der Public Relations die Besucher von 9 Uhr vormittags bis 3 Uhr nachmittags durch ununterbrochene Filmvorführungen über die Baugeschichte unterrichtet werden. Man erkennt beim Film, daß schon zu Baubeginn 1928 der Betrieb voll mechanisiert war. Ständige Führungen unter sachkundiger Leitung und ein „sprechendes Modell“ des ganzen Colorado-Gebietes hinterlassen bei jedem Besucher einen starken Eindruck von der technischen Kulturleistung des amerikanischen Volkes, wenn man das Wort Kultur in der ursprünglichen Bedeutung des Wortes (von agricultura stammend) auffaßt. Agricultura ist hier die Schaffung von

Kulturland aus der Wüste und die Ermöglichung menschlicher Siedlungen.

Als weiteres Projekt am Colorado-Fluß ist jetzt der Ausbau des Glen Canyon in Angriff genommen. Die Sperre wird 177 m hoch; der Stauraum beträgt 34,5 Mrd. m<sup>3</sup>. Das Kraftwerk erhält 8 Francisturbinen von 155 500 hp mit einer Gesamtleistung von 900 MW.

Mit einigen wenigen Worten soll auf die Arbeiten des Bureau of Reclamation in Kalifornien eingegangen werden. Fast 30 % dieses Landes sind Wüste. Man hat seit einiger Zeit dabei, das Central Valley durch Bewässerungsanlagen zu erschließen und hat dabei schon große Erfolge erzielt. Das benötigte Wasser wird insbesondere in der Shasta-Talsperre mit einem Nutzinhalt von 5,55 Mrd. m<sup>3</sup> gespeichert und in den kleineren Sperren Folsom und Nimbus. Betreut werden die Arbeiten vom B. o. R. in Sacramento (Calif.).

Schließlich dürfen die Bauten des oberen Missouri flusses oberhalb der Stadt Omaha nicht unerwähnt bleiben. In den letzten 25 Jahren sind dort eine Anzahl von Flußwehrbauten entstanden, die den Zweck haben, Hochwasser und Schifffahrt des Missouri bis zu seiner Mündung in den Mississippi bei St. Louis und noch eine Strecke des Mississippi unterhalb der Mündung zu regulieren. Daneben wird mit diesen Bauwerken der Zweck der Bewässerung gewisser Gebiete am Oberlauf des Missouri und der Schaffung von Erholungsstätten verfolgt. Der erste dieser großen Wehrbauten bei Fort Peck wurde schon vor dem letzten Weltkrieg vollendet, andere wichtige Werke dieser Art, wie Garrison, Oahe und Fort Randall, sind in den letzten Jahren ausgeführt worden oder befinden sich dicht vor ihrer Fertigstellung.

### Schluß

Verglichen mit Amerika sind die wasserbaulichen Aufgaben in Deutschland sehr bescheiden. Keiner, der die großen Bauwerke in USA gesehen hat, wird ohne hohes Ansehen die Leistungen der amerikanischen Ingenieure zurückkehren. Allenthalben spürt man noch den Wagemut der Pionier- und Siedlerzeit, der dieses Land groß und mächtig gemacht hat.

## Das orthogonale Seilnetz hyperbolisch-parabolischer Form unter vertikalen Lastzuständen und Temperaturänderung

Von Dr.-Ing. H. K. Bandel, New York\*

DK 531.221.8 : 624.071.2 : 624.91

Das hyperbolisch-parabolisch gekrümmte Seilnetz der Abb. 1 bildet die Grundform der stabilisierten Hängedachkonstruktionen. Die Schar der konkaven Seile des Netzsystems trägt die Dachlasten infolge ihrer Formgebung momentenfrei zu der Verankerungskonstruktion, während die rechtwinklig zu diesen Tragseilen angeordnete, konvex gekrümmte Schar der Rückhalteseile die Verformun-

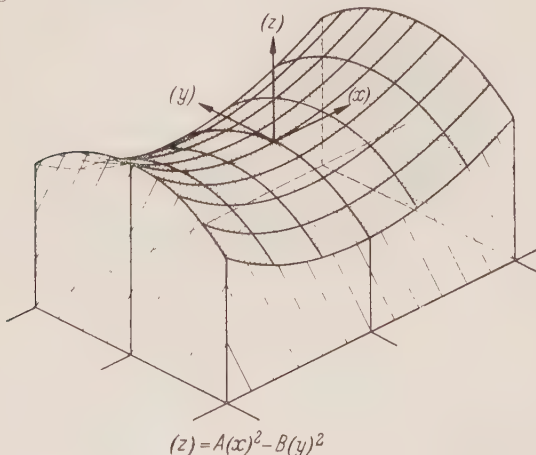


Abb. 1. Das orthogonale Seilnetz hyperbolisch-parabolischer Form.

gen der Tragseile beschränken und dadurch das Seilnetz stabilisieren.

Im Nachfolgenden wird ein Berechnungsverfahren aufgestellt, das die Bestimmung der Seilkräfte und Seilverformungen eines Seilnetzes von oben beschriebenem Aufbau erlaubt für die Lastfälle: Vorspannen des Seilnetzes, vertikale Dachlasten und Temperaturänderung. Die Beschränkung der Lastfälle, insbesondere die Nichterfassung von Horizontallasten, erlaubt bei stabilisierten Seilnetzen die Vernachlässigung der horizontalen Seilverformungen in  $x$ - und  $y$ -Richtung gegenüber den vertikalen Verformungen in  $z$ -Richtung. Diese Vernachlässigung entspricht einer Außerachtlassung der relativ geringen Tragwirkung eines in und aus seiner vertikalen Ebene durch räumliche Kräfte horizontal verformten Seiles<sup>1</sup>. Im Abschnitt A werden zunächst am einfachen Seil die grundlegenden Beziehungen des Berechnungsverfahrens entwickelt, die dann im Abschnitt B zur Berechnung des Seilnetzes erweitert werden. Die Abschnitte C und D beschreiben ein Verfahren zur näherungsweisen Abschätzung der Seilkräfte und Seilverformungen, wieder vom Einzelseil ausgehend erweitert für das räumliche Netz.

\* Ingenieurbüro Severud, Elstad, Krüger.

<sup>1</sup> Die Erfassung dieses besonders bei horizontaler Belastung wirksamen Einflusses wird vom Verfasser in einer gesonderten Betrachtung untersucht.

# A. Das Einzelseil unter vertikaler Streckenbelastung $q$ und Temperaturänderung $\Delta T$

## 1. Gleichungssystem der vertikalen Verformungsordinaten

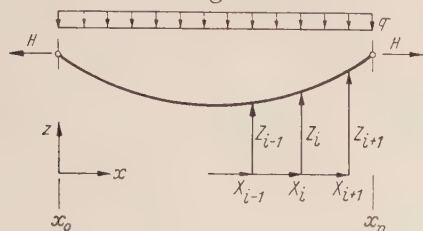


Abb. 2. Einzelseil unter vertikaler Streckenlast  $q$ .

Für die Berechnung wird die Parabelkurve  $z_{(x)}$  des hängenden Seils durch einen Polygonzug angenähert und die Streckenlast an den Knickpunkten des Polygons in Form von Punktlasten  $Z_i$  aufgebracht. Unter Berücksichtigung der vertikalen Verformungen  $w$  ergibt sich das in der Abb. 3 mit seinen Schnittkräften dargestellte Stück des Seilpolygons.

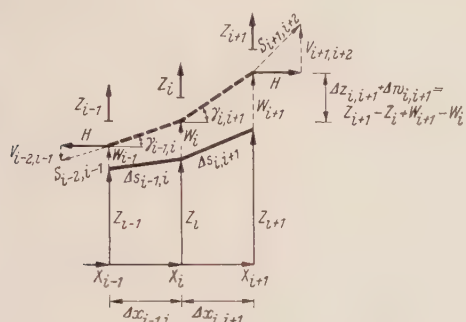


Abb. 3. Stück des verformten Seilpolygons.

Die Horizontalkomponente  $H$  der Seilkraft ist über die gesamte Seillänge konstant, da das Seil nur vertikal belastet sein soll. Aus Abb. 3 ergibt sich weiter die Gleichung für das vertikale Gleichgewicht am verformten Seil in Punkt  $i$  zu:

$$H \cdot [\operatorname{tg} \gamma_{i,i+1} - \operatorname{tg} \gamma_{i-1,i}] + Z_i = 0, \quad (\text{A } 1.01)$$

wobei  $Z_i$  ist für:

Seil- und Eindeckungsgewicht:

$$Z_i = -\frac{g}{2} \cdot [\Delta s_{i-1,i} + \Delta s_{i,i+1}] = -G_i, \quad (\text{A } 1.02a)$$

Vertikallasten (projiziert):

$$Z_i = -\frac{p}{2} \cdot [\Delta x_{i-1,i} + \Delta x_{i,i+1}] = -P_i; \quad (\text{A } 1.02b)$$

man erhält mit

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{\Delta z + \Delta w}{\Delta x} \quad (\text{A } 1.03)$$

aus Gleichung (A 1.01)

$$\frac{z_{i+1} - z_i}{x_{i+1} - x_i} + \frac{w_{i+1} - w_i}{x_{i+1} - x_i} - \frac{z_i - z_{i-1}}{x_i - x_{i-1}} - \frac{w_i - w_{i-1}}{x_i - x_{i-1}} + \frac{Z_i}{H} = 0, \quad (\text{A } 1.04)$$

oder nach Umformung

$$\begin{aligned} & w_{i-1} \cdot \left[ \frac{1}{\Delta x_{i-1,i}} \right] + w_i \cdot \left[ -\frac{1}{\Delta x_{i-1,i}} - \frac{1}{\Delta x_{i,i+1}} \right] + w_{i+1} \cdot \\ & \left[ \frac{1}{\Delta x_{i,i+1}} \right] + Z_{i-1} \cdot \left[ \frac{1}{\Delta x_{i-1,i}} \right] + Z_i \cdot \left[ -\frac{1}{\Delta x_{i-1,i}} - \frac{1}{\Delta x_{i,i+1}} \right] + \\ & + Z_{i+1} \cdot \left[ \frac{1}{\Delta x_{i,i+1}} \right] + \frac{Z_i}{H} = 0. \end{aligned} \quad (\text{A } 1.05)$$

Mit den Abkürzungen:

$$\delta_{i-1,i} = \frac{1}{\Delta x_{i-1,i}}, \quad (\text{A } 1.06a)$$

$$\delta_{i,i} = -\frac{1}{\Delta x_{i-1,i}} - \frac{1}{\Delta x_{i,i+1}}, \quad (\text{A } 1.06b)$$

$$\delta_{i,i+1} = \frac{1}{\Delta x_{i,i+1}}, \quad (\text{A } 1.06c)$$

$${}^q\delta_{i(H)} = \frac{Z_i}{H} + Z_{i-1} \cdot \delta_{i,i-1} + Z_i \cdot \delta_{i,i} + Z_{i+1} \cdot \delta_{i,i+1} \quad (\text{A } 1.06d)$$

lautet schließlich die Gleichgewichtsbedingung des Punktes  $i$ :

$$w_{i-1} \cdot \delta_{i,i-1} + w_i \cdot \delta_{i,i} + w_{i+1} \cdot \delta_{i,i+1} + {}^q\delta_{i(H)} = 0. \quad (\text{A } 1.07)$$

Diese Gleichung läßt sich für jeden Punkt des Polygonzuges aufstellen, und zusammengefaßt erhält man ein dreigliedriges Gleichungssystem der folgenden Form:

$$w_1 \cdot \delta_{1,1} + w_2 \cdot \delta_{1,2} + {}^q\delta_{1(H)} = 0,$$

$$w_1 \cdot \delta_{2,1} + w_2 \cdot \delta_{2,2} + w_3 \cdot \delta_{2,3} + {}^q\delta_{2(H)} = 0, \quad (\text{A } 1.08)$$

$$w_2 \cdot \delta_{3,2} + w_3 \cdot \delta_{3,3} + w_4 \cdot \delta_{3,4} + {}^q\delta_{3(H)} = 0 \text{ usw.}$$

Die Verformungsordinaten ergeben sich nach Lösung des Gleichungssystems (A 1.08) als Funktionen der aufgetragenen Belastung und der Horizontalkomponente  $H$  der Seilkraft.

## 2. Seillänge infolge der vertikalen Verformung des Polygonzuges

Aus den vertikalen Verformungsordinaten  $w$  des polygonalen Seilzuges läßt sich mit Hilfe der geometrischen Beziehungen in Abb. 4 die Länge einer geraden Seilstrecke zwischen zwei benachbarten Polygonpunkten wie folgt bestimmen:

$$(\Delta s_{i,i+1} + \Delta \Delta s_{i,i+1})^2 = \Delta^2 x_{i,i+1} + (\Delta z_{i,i+1} + \Delta w_{i,i+1})^2 \quad (\text{A } 2.01a)$$

oder

$$\begin{aligned} & \Delta^2 s_{i,i+1} + 2 \cdot \Delta s_{i,i+1} \Delta \Delta s_{i,i+1} = \\ & = \Delta^2 x_{i,i+1} + \Delta^2 z_{i,i+1} + 2 \cdot \Delta z_{i,i+1} \Delta w_{i,i+1} + \Delta^2 w_{i,i+1}. \end{aligned} \quad (\text{A } 2.01b)$$

Nach Kürzung der geometrischen Beziehung des unverformten Seiles

$$\Delta^2 s_{i,i+1} = \Delta^2 x_{i,i+1} + \Delta^2 z_{i,i+1} \quad (\text{A } 2.02)$$

und  $\Delta \Delta^2 s_{i,i+1}$ ;  $\Delta^2 w_{i,i+1}$  als kleine Werte höherer Ordnung vernachlässigt, erhält man:

$$\Delta \Delta s_{i,i+1} = \frac{\Delta z_{i,i+1}}{\Delta s_{i,i+1}} \cdot \Delta w_{i,i+1}. \quad (\text{A } 2.03)$$

Die gesamte Seillänge bzw. Länge des Polygonzuges liefert die Summation der Einzellängen der Polygonglieder:

$$\sum_{i=1}^{n-1,n} \Delta \Delta s_{i,i+1} = \sum_{i=1}^{n-1,n} \frac{\Delta z_{i,i+1}}{\Delta s_{i,i+1}} \cdot \Delta w_{i,i+1}. \quad (\text{A } 2.04)$$

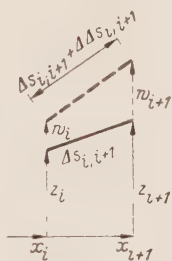


Abb. 4. Polygonzug  $i, i+1$ .

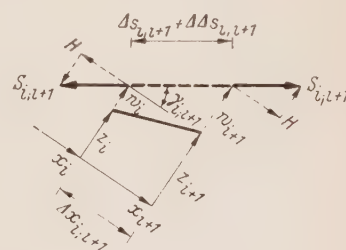


Abb. 5. Polygonzug  $i, i+1$ .

## 3. Elastische Seillänge infolge der Seilkraft $S$ und Verformung infolge Temperaturänderung

Die Länge  $\Delta \Delta s$  eines Seilstückes  $\Delta s$  resultiert aus der elastischen Dehnung infolge der Seilkraft  $S$  und der Länge oder Kürzung infolge einer Temperaturzunahme oder Abnahme gegenüber der während der Aufhängung des Seiles herrschenden Temperatur:

$$\Delta \Delta s_{i,i+1} = \frac{S_{i,i+1}}{E F} \cdot \Delta s_{i,i+1} + T_E \cdot \Delta T \cdot \Delta s_{i,i+1} \quad (\text{A } 3.01)$$

$T_E$  = Temperaturkoeffizient  
 $\Delta T$  = positive Temperaturdifferenz

oder mit 
$$S_{i,i+1} = \frac{H}{\cos \gamma_{i,i+1}} \quad (\text{A } 3.02)$$

und 
$$\cos \gamma_{i,i+1} = \frac{\Delta x_{i,i+1}}{\Delta s_{i,i+1} + \Delta \Delta s_{i,i+1}} \quad (\text{A } 3.03)$$

ist

$$\Delta \Delta s_{i,i+1} = \frac{H}{EF} \cdot \frac{\Delta^2 s_{i,i+1} + \Delta s_{i,i+1} \cdot \Delta \Delta s_{i,i+1}}{\Delta x_{i,i+1}} + T_\varepsilon \cdot \Delta T \cdot \Delta s_{i,i+1} \quad (\text{A } 3.04a)$$

$\Delta s_{i,i+1} \cdot \Delta \Delta s_{i,i+1}$  wird als kleiner Wert gegenüber  $\Delta^2 s_{i,i+1}$  vernachlässigt, und so ergibt sich schließlich:

$$\Delta \Delta s_{i,i+1} = \frac{H}{EF} \cdot \frac{\Delta^2 s_{i,i+1}}{\Delta x_{i,i+1}} + T_\varepsilon \cdot \Delta T \cdot \Delta s_{i,i+1} \quad (\text{A } 3.04b)$$

Aus der Summation der Verformungen der Teilstücke des Polygons erhält man wieder die Gesamtlänge des Seiles. Die Querschnittsfläche des Seiles wird als Konstant über die Länge des Seiles vorausgesetzt:

$$\sum_{0,1}^{n-1,n} \Delta \Delta s_{i,i+1} = \frac{H}{EF} \cdot \sum_{0,1}^{n-1,n} \frac{\Delta^2 s_{i,i+1}}{\Delta x_{i,i+1}} + T_\varepsilon \cdot \Delta T \cdot \sum_{0,1}^{n-1,n} \Delta s_{i,i+1} \quad (\text{A } 3.05)$$

Sofern die Horizontalkomponente  $H$  der Seilkraft und die Verformungsordinaten  $w$  des Seiles bekannt sind, folgt für die Seilkraft  $S$

$$S_{i,i+1} = \frac{H}{\cos \gamma_{i,i+1}} = H \cdot \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \gamma_{i,i+1}};$$

mit 
$$\operatorname{tg} \gamma_{i,i+1} = \frac{\Delta z_{i,i+1} + \Delta w_{i,i+1}}{\Delta x_{i,i+1}} \quad (\text{A } 3.06)$$

#### 4. Iterative Bestimmung der horizontalen Seilkomponente $H$

Für den um die vertikalen Verschiebungsordinaten  $w$  verformten Seilpolygonenzug läßt sich durch Gleichsetzen der Gesamtseillänge infolge der Vertikalverschiebungen Gl. (A 2.04) und infolge einer Seilkraft  $S$ , einschließlich des Temperatureinflusses, Gl. (A 3.05) der Horizontal Schub  $H$  bestimmen:

$$\sum_{0,1}^{n-1,n} \frac{\Delta z_{i,i+1}}{\Delta s_{i,i+1}} \cdot \Delta w_{i,i+1} = \frac{H}{EF} \cdot \sum_{0,1}^{n-1,n} \frac{\Delta^2 s_{i,i+1}}{\Delta x_{i,i+1}} + T_\varepsilon \cdot \Delta T \cdot \sum_{0,1}^{n-1,n} \Delta s_{i,i+1} \quad (\text{A } 4.01a)$$

oder

$$H = \frac{EF}{\sum_{0,1}^{n-1,n} \frac{\Delta^2 s_{i,i+1}}{\Delta x_{i,i+1}} + \left[ \sum_{0,1}^{n-1,n} \frac{\Delta z_{i,i+1}}{\Delta s_{i,i+1}} \cdot \Delta w_{i,i+1} - T_\varepsilon \cdot \Delta T \cdot \sum_{0,1}^{n-1,n} \Delta s_{i,i+1} \right]} \quad (\text{A } 4.01b)$$

In der Formel für die Horizontalkomponente  $H$  der Seilkraft Gl. (A 4.01) sind die vertikalen Verschiebungen  $w$  des Seilpolygonzuges enthalten, die selbst aber abhängig von  $H$  aus dem Gleichungssystem (A 1.08) bestimmt werden. Für die praktische Berechnung ist es notwendig, zunächst einen  $H$ -Wert zu schätzen und mit diesem Schätzwert die Verformungen  $w$  unter Berücksichtigung der aufgeführten Lasten nach (A 1.08) zu berechnen. Mit Hilfe dieser Verformungen erhält man dann nach Gl. (A 4.01) bei Einbezug eines eventuellen Temperatureinflusses den

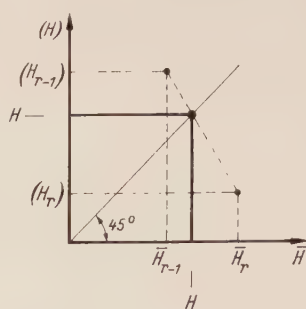


Abb. 6. Interpolation der  $H$ -Werte.

$$H = \frac{(H_{r-1}) H_r - (H_r) H_{r-1}}{(H_{r-1}) - H_r - (H_r) - H_{r-1}} \quad (\text{A } 4.02)$$

$$H_r = \frac{H_{r-1} + (H_{r-1})}{2} \quad (\text{A } 4.03)$$

Der Schnittpunkt der linearen Interpolationsgeraden zwischen dem Ergebniswerte  $(H_{r-1})$  eines Schätzwertes  $H_{r-1}$  der  $(r-1)$ ten Annahme und dem Werte  $(H_r)$  einer  $(r)$ ten Annahme  $H_r$  mit der Geraden unter dem Winkel von  $45^\circ$  ergibt einen verbesserten Lösungswert  $H$ . Liefert dieser Wert  $H$  für einen weiteren Iterationsschritt, wieder um als  $H_r$ -Wert eingesetzt, einen abweichenden Ergebniswert  $(H_r)$ , so läßt sich die Interpolation entsprechend wiederholen. Der Wert  $H_r$  bestimmt sich bei der ersten Interpolation nach Gl. (A 4.03). Die Bestimmung der endgültigen Verformungen des Seiles erfolgt durch Einsetzung des Lösungswertes von  $H$  in das Gleichungssystem (A 1.08) oder näherungsweise durch lineare Interpolation der Verformungswerte  $w$  in Abhängigkeit der Werte von  $H$ .

#### 5. Das mit der Last $q$ belastete Seil unter zusätzlicher Last $\Delta q$

Sind die horizontale Seilkraft  ${}^qH$  und die Verformungen  ${}^qw$  eines Seiles unter einer vertikalen Last  $q$  bekannt, so ergeben sich für eine zusätzliche Last  $\Delta q$  die Zusatzwerte für die Seilverformung  $\Delta{}^qw$  und für die Seilkraft  $\Delta{}^qH$  in folgender Weise: Am Polygonenzug mit den Ordinaten  $\bar{z} = z + {}^qw$  ist in dem vertikalen Gleichgewicht eines Knickpunktes für die Aufstellung des Gleichungssystems (A 1.08) zur Bestimmung der Verformungen  $\Delta{}^qw$  der totale Horizontalzug  $H = {}^qH + \Delta{}^qH$  bei gleichzeitiger voller Knotenlast  ${}^q + \Delta{}^qZ$  zu berücksichtigen. Die Gleichung (A 4.01) zur Berechnung von  $H$  als Funktion der Verformungen  $\Delta{}^qw$  ergibt nun bei Verwendung der  $\Delta z$  und  $\Delta s$ -Werte die Änderung des Horizontalzugs  $\Delta{}^qH$ , ebenso erfolgt die weitere Interpolation für den Wert  ${}^qH$ .

#### B. Das hyperbolisch parabolisch geformte Seilnetz unter vertikaler Belastung und Temperaturänderung

##### 1. Gleichungssystem der vertikalen Verformungsordinaten

Das orthogonale Seilnetz, das die Abb. 7 in Projektion zeigt, besteht aus den in  $x$ -Richtung gespannten, einer Parabelinie folgenden Tragseilen und den Rückhalteseilen, die mit negativer Krümmung der  $y$ -Richtung folgen. Betrachtet man den Netzknoten  $x_i; y_k$ , so lautet für das verformte Seilnetz nach Abb. 8 die Gleichgewichtsbedingung in  $z$ -Richtung

$$H_{x;k} \cdot [\operatorname{tg} \gamma_{i,i+1;k} - \operatorname{tg} \gamma_{i-1,i;k}] + H_{i;y} \cdot [\operatorname{tg} \gamma_{i;k,k+1} - \operatorname{tg} \gamma_{i;k-1,k}] + Z_{i;k} = 0 \quad (\text{B } 1)$$

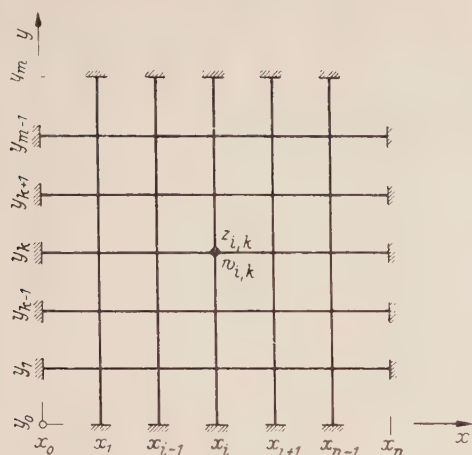


Abb. 7. Projektion des Seilnetzes.

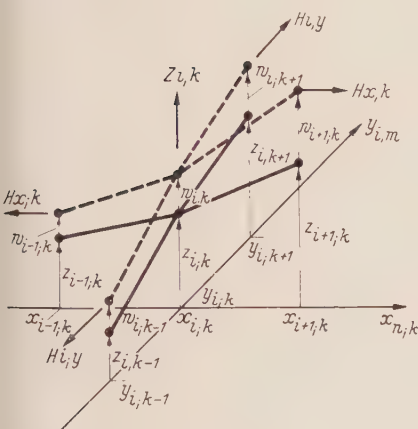


Abb. 8.  
Netzpunkt i, k

wobei  $Z_{i,k}$  ist für:

$$g: {}^g Z_{i,k} = -\frac{g}{4} \cdot [\Delta s_{i-1,i,k} + \Delta s_{i,i+1,k}] \cdot [\Delta s_{i,i,k-1} + \Delta s_{i,i,k+1}], \quad (B 1.02a)$$

$$p: {}^p Z_{i,k} = -\frac{p}{4} \cdot [\Delta x_{i-1,i,k} + \Delta x_{i,i+1,k}] \cdot [\Delta y_{i,i,k-1} + \Delta y_{i,i,k+1}], \quad (B 1.02b)$$

mit

$$\operatorname{tg} \gamma_{i,i+1,k} = \frac{\Delta z_{i,i+1,k} + \Delta w_{i,i+1,k}}{\Delta x_{i,i+1,k}} \quad (B 1.03a)$$

der

$$\operatorname{tg} \gamma_{i,i,k+1} = \frac{\Delta z_{i,i,k+1} + \Delta w_{i,i,k+1}}{\Delta y_{i,i,k+1}} \quad (B 1.03b)$$

erhält man nach Umformung:

$$\begin{aligned} & w_{i-1,k} \cdot \frac{H_{x,k}}{\Delta x_{i-1,i,k}} + w_{i,k-1} \cdot \frac{H_{i,y}}{\Delta y_{i,i,k-1}} + \\ & + w_{i,k} \cdot \left[ -H_{x,k} \left( \frac{1}{\Delta x_{i-1,i,k}} + \frac{1}{\Delta x_{i,i+1,k}} \right) - \right. \\ & \left. - H_{i,y} \cdot \left( \frac{1}{\Delta y_{i,i,k-1}} + \frac{1}{\Delta y_{i,i,k+1}} \right) \right] + \\ & + w_{i+1,k} \cdot \frac{H_{x,k}}{\Delta x_{i,i+1,k}} + w_{i,k+1} \cdot \frac{H_{i,y}}{\Delta y_{i,i,k+1}} + \tilde{Z}_{i,k} = 0. \end{aligned}$$

mit

$$\begin{aligned} \tilde{Z}_{i,k} = & Z_{i,k} + H_{x,k} \cdot \left[ \frac{\Delta z_{i,i+1,k}}{\Delta x_{i,i+1,k}} - \frac{\Delta z_{i-1,i,k}}{\Delta x_{i-1,i,k}} \right] + \\ & + H_{i,y} \cdot \left[ \frac{\Delta z_{i,i,k+1}}{\Delta y_{i,i,k+1}} - \frac{\Delta z_{i,i,k-1}}{\Delta y_{i,i,k-1}} \right]; \quad (B 1.04) \end{aligned}$$

mit den Abkürzungen:

$$\left. \begin{aligned} \delta_{i-1,k} &= \frac{H_{x,k}}{\Delta x_{i-1,i,k}}; \quad \delta_{i+1,k} = \frac{H_{x,k}}{\Delta x_{i,i+1,k}}, \\ \tilde{\delta}_{i,k} &= -H_{x,k} \cdot \left( \frac{1}{\Delta x_{i-1,i,k}} + \frac{1}{\Delta x_{i,i+1,k}} \right) - \\ & - H_{i,y} \cdot \left( \frac{1}{\Delta y_{i,i,k-1}} + \frac{1}{\Delta y_{i,i,k+1}} \right), \\ \delta_{i,k-1} &= \frac{H_{i,y}}{\Delta y_{i,i,k-1}}; \quad \delta_{i,k+1} = \frac{H_{i,y}}{\Delta y_{i,i,k+1}}, \\ {}^q \delta_{i,k} &= \tilde{Z}_{i,k} \end{aligned} \right\} \quad (B 1.05)$$

lautet Gl. (B 1.04)

$$\begin{aligned} w_{i-1,k} \cdot \delta_{i-1,k} + w_{i,k-1} \cdot \delta_{i,k-1} + w_{i,k} \cdot \tilde{\delta}_{i,k} + w_{i+1,k} \cdot \delta_{i+1,k} \\ + \delta_{i+1,k} \cdot w_{i,k+1} + \delta_{i,k+1} \cdot w_{i,k+1} + {}^q \delta_{i,k} = 0. \end{aligned} \quad (B 1.06)$$

Wird die vertikale Gleichgewichtsbeziehung für jeden Netzpunkt aufgestellt, so erhält man ein Gleichungssystem der folgenden Form:

$$\begin{aligned} w_{1,1} \cdot \tilde{\delta}_{1,1} + w_{2,1} \cdot \delta_{2,1} + w_{1,2} \cdot \delta_{1,2} + \tilde{Z}_{1,1} &= 0, \\ w_{1,1} \cdot \delta_{1,1} + w_{2,1} \cdot \tilde{\delta}_{2,1} + w_{3,1} \cdot \delta_{3,1} + w_{2,2} \cdot \delta_{2,2} + \tilde{Z}_{2,1} &= 0, \\ w_{2,1} \cdot \delta_{2,1} + w_{3,1} \cdot \tilde{\delta}_{3,1} + w_{1,1} \cdot \delta_{1,1} + w_{3,2} \cdot \delta_{3,2} + \tilde{Z}_{3,1} &= 0, \\ \text{usw.} \end{aligned} \quad (B 1.07)$$

Die Verformungsordinaten  $w$  des Seilnetzes ergeben sich nach Lösung des Gleichungssystems (B 1.07) als Funktionen der aufgebrachten Belastung und der Horizontalkomponenten  $H$  der Seile in  $x$ - und  $y$ -Richtung.

## 2. Bestimmung der horizontalen Seilkraftkomponenten $H$

Entsprechend den Betrachtungen in den Abschnitten A 2, A 3 und A 4 ergeben sich wieder aus der Gleichsetzung der Seillänge infolge der vertikalen Verformungen eines Seilpolygonenzuges im Seilnetz und der Seillänge infolge der Seilelastizität und Temperaturänderung die Horizontalkomponenten der Seilkräfte zu:

$$\begin{aligned} H_{x,k} &= \frac{E \cdot F_{x,k}}{n-1, n} \cdot \sum_{0,1} \frac{\Delta^2 s_{i,i+1,k}}{\Delta x_{i,i+1,k}} \\ & \cdot \left[ \sum_{0,1}^{n-1, n} \frac{\Delta z_{i,i+1,k}}{\Delta s_{i,i+1,k}} \cdot \Delta w_{i,i+1,k} - T_E \cdot \Delta T \cdot \sum_{0,1}^{n-1, n} \Delta s_{i,i+1,k} \right] \end{aligned} \quad (B 2.01)$$

und

$$\begin{aligned} H_{i,y} &= \frac{E \cdot F_{i,y}}{m-1, m} \cdot \sum_{0,1} \frac{\Delta^2 s_{i,k,k+1}}{\Delta y_{i,k,k+1}} \\ & \cdot \left[ \sum_{0,1}^{m-1, m} \frac{\Delta z_{i,k,k+1}}{\Delta s_{i,k,k+1}} \cdot \Delta w_{i,k,k+1} - T_E \cdot \Delta T \cdot \sum_{0,1}^{m-1, m} \Delta s_{i,k,k+1} \right]. \end{aligned} \quad (B 2.02)$$

Da die im Gleichungssystem (B 1.07) eingesetzten  $H$ -Werte in der Regel nicht mit den Ergebniswerten der Formeln (B 2.01) und (B 2.02) übereinstimmen, ist die Übereinstimmung dieser Werte wieder iterativ durch lineare Interpolation analog den Angaben des Abschnittes A 4 anzustreben.

### 3. Das mit der Last $q$ belastete Seilnetz unter zusätzlicher Last $\Delta q$

Ähnlich dem Falle des Einzelseiles Abschnitt A 5 ist das Gleichungssystem (B 1.07) aufzustellen mit den totalen Horizontalkräften der Seile  $H = {}^qH + {}^{\Delta q}H$  und den vollen Knotenlasten  $q + {}^{\Delta q}q$  für das schon durch die Last  $q$  verformte Netz mit den Ordinaten  $z = z + {}^qz$ . Die Gleichungen (B 2.01) und (B 2.02) ergeben dann bei Verwendung der Verformungen  ${}^{\Delta q}w$  und der Systemwerte  $\Delta z$  und  $\Delta s$  die Änderung der Horizontalkräfte  ${}^{\Delta q}H$ , für die ebenfalls die weitere Interpolation erfolgt.

### 4. Lastfall Vorspannung $V$

Zur Beschränkung der Verformungen eines Seilnetzes ist es zweckmäßig, das Seilsystem des Netzes vorzuspannen. Das Vorspannen erfolgt durch Anspannen des Systemes der Rückhalteseile oder des Systemes der Tragseile. Eine nahezu formtreue Vorspannung des Netzes läßt sich aber nur durch gleichzeitiges Anspannen beider Systeme erzielen. Die Größe der Vorspannung ist mit der zu erwartenden Verkehrslast und Temperaturänderung so abzustimmen, daß bei maximaler Temperaturerhöhung und Windlast oder bei maximaler Schneelast die Wirkung der Rückhaltekel einerseits zur Verhinderung eines Abhebens des Daches und andererseits zur Dämpfung von Schwingungserscheinungen gewährleistet ist.

Werden die Rückhalteseile mit der Horizontalkraft  $V_{H_{i,y}}$  vorgespannt, so ergeben sich mit den Belastungswerten  $Z_{i,k} = 0$  und geschätzten Horizontalkräften  $V_{H_{x,k}}$  der Tragkabel nach Lösung des Gleichungssystems (B 1.06) aus der Formel (B 2.01) Ergebniswerte  $(V_{H_{x,k}})$  für die unbekannten Seilzüge der Tragkabel. Durch Interpolation und Iteration lassen sich die Lösungswerte  $V_{H_{x,k}}$  bestimmen, denen die Verformungsordinaten  $V_{w_{i,k}}$  zugeordnet sind, womit dann auch mit den Ausgangs-Ordinaten  ${}^0z_{i,k}$  die endgültigen Ordinatenwerte der vorgespannten Seile  $V_{z_{i,k}}$  festliegen. Im Schema (B 4.01) sind diese Überlegungen nochmals abgekürzt zusammengefaßt.

#### Vorspannen der Rückhaltekel

$$\left. \begin{aligned} Z_{i,k} &= 0 \\ H_{i,y} &= V_{H_{i,y}} \\ H_{x,k} &= V_{H_{x,k}} \\ z_{i,k} &= {}^0z_{i,k} \end{aligned} \right\} \rightarrow \left. \begin{aligned} (V_{H_{x,k}}); V_{H_{x,k}} \\ V_{w_{i,k}} \\ V_{z_{i,k}} = {}^0z_{i,k} + V_{w_{i,k}} \end{aligned} \right\} \quad (\text{B 4.01})$$

Im Falle des Anspannens der Tragkabel ist in analoger Weise zu verfahren. Beim Anspannen beider Kabelsysteme sind die Horizontalzüge des Netzes gegeben. Aus der Lösung des Gleichungssystems (B 1.06) erhält man sofort die endgültigen Verformungen des Seilnetzes unter der Vorspannung.

### 5. Lastfall Eigengewicht $G$ und vertikale Zusatzlast $P$

Es wird angenommen, daß die Eigengewichtslast  $G$  aus der Dacheindeckung und die vertikale Zusatzlast  $P$  (z. B. Schneelast) nach dem Vorspannen des Seilnetzes einwirken:

$$\left. \begin{aligned} Z_{i,k} &= -G_{i,k} - P_{i,k} \\ H_{i,y} &= V_{H_{i,y}} + G^{+P}H_{i,y} \\ H_{x,k} &= V_{H_{x,k}} + G^{+P}H_{x,k} \\ z_{i,k} &= V_{z_{i,k}} \end{aligned} \right\} \rightarrow \left. \begin{aligned} (G^{+P}H_{i,y}); G^{+P}H_{i,y} \\ (G^{+P}H_{x,k}); G^{+P}H_{x,k} \\ G^{+P}w_{i,k} \\ V + G^{+P}z_{i,k} = V_{z_{i,k}} + G^{+P}w_{i,k} \end{aligned} \right\} \quad (\text{B 5.01})$$

Die Berechnung des Seilnetzes für Eigengewicht, Zusatzlasten und Temperaturänderung erfolgt an dem durch das Vorspannen verformte Seilnetz mit den Höhenordinaten  $V_{z_{i,k}}$ . Bei Verwendung der Knotenlasten  $Z_{i,k}$  für Eigen-

gewicht und Zusatzlast und der horizontalen Seilkräfte  $H_{i,y}$  bzw.  $H_{x,k}$ , resultierend aus den bereits bestimmten Werten des Lastfalles Vorspannung und Schätzwerten für den neuen Lastfall, liefert wieder das Gleichungssystem (B 1.06) die zusätzlichen Verformungen. Mit Hilfe dieser Verformungswerte und den Werten  $V_{\Delta z}$ ,  $V_{\Delta s}$  führen dann die Formeln (B 2.01) und (B 2.02) zu den Ergebniswerten  $(G^{+P}H_{i,y})$  und  $(G^{+P}H_{x,k})$  der zusätzlichen Horizontalkräfte der Seile. Die Übereinstimmung der Schätzwerte mit den Ergebniswerten wird wieder iterativ und mit linearer Interpolation erzielt. Soll nur ein Lastfall untersucht werden, so ist in gleicher Weise zu verfahren bei Vernachlässigung der Last- und  $H$ -Werte des anderen Lastfalles.

### 6. Lastfall Eigengewicht $G$ und vertikale Zusatzlast $P$ mit Temperaturänderung $\Delta T$

Änderungen der Temperatur gegenüber der während des Bauzustandes herrschenden Temperatur erhöhen bei Abkühlung und erniedrigen bei Erwärmung die Seilkräfte des hyperbolisch parabolisch geformten Seilnetzes. Bei Berücksichtigung von Eigengewicht und Zusatzlast ergeben sich folgende Ausgangs- und Endwerte:

$$\left. \begin{aligned} Z_{i,k} &= -G_{i,k} - P_{i,k} \\ H_{i,y} &= V_{H_{i,y}} + G^{+P+\Delta T}H_{i,y} \\ H_{x,k} &= V_{H_{x,k}} + G^{+P+\Delta T}H_{x,k} \\ z_{i,k} &= V_{z_{i,k}} \end{aligned} \right\} \rightarrow \left. \begin{aligned} (G^{+P+\Delta T}H_{i,y}); G^{+P+\Delta T}H_{i,y} \\ (G^{+P+\Delta T}H_{x,k}); G^{+P+\Delta T}H_{x,k} \\ G^{+P+\Delta T}w_{i,k} \\ V + G^{+P+\Delta T}z_{i,k} = V_{z_{i,k}} + G^{+P+\Delta T}w_{i,k} \end{aligned} \right\} \quad (\text{B 6.01})$$

Die Berechnung ist ähnlich der des Lastfalles 5. Die Schätzwerte für  $H$  müssen jetzt den Einfluß der Temperaturänderung  $\Delta T$  berücksichtigen. In den Formeln der Ergebniswerte (B 2.01) und (B 2.02) müssen ebenfalls die zweiten, von  $\Delta T$  abhängigen Glieder erfaßt werden. Die  $\Delta s$ -Werte sind die  $V_{\Delta s}$ -Werte des durch Vorspannung verformten Netzes zu verwenden. Die Interpolation und Iteration erfolgt wieder in der vorher beschriebenen Weise.

### C. Näherungsberechnung für das Einzelseil unter vertikaler, annähernd gleichmäßiger Streckenbelastung $q$ und Temperaturänderung $\Delta T$

#### 1. Funktion der Seilkurve, Länge des Seiles und Änderung der Seillänge bei Änderung des Seil durchhanges

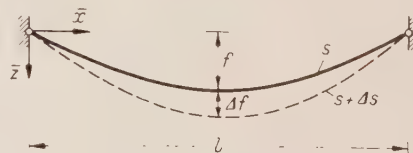


Abb. 9. Einzelseil.

Für das parabelförmige Seil lautet die Ordinatenfunktion  $z(\bar{x})$  und ihre Ableitung  $dz/dx$ :

$$z = 4f \left[ \frac{\bar{x}}{l} - \left( \frac{\bar{x}}{l} \right)^2 \right], \quad (\text{C 1.01})$$

$$\frac{dz}{dx} = \frac{4f}{l} \left[ 1 - 2 \frac{\bar{x}}{l} \right]. \quad (\text{C 1.02})$$

Mit Hilfe der bekannten Näherungsbeziehung für  $ds$  läßt sich durch Integration die Länge  $s$  des Seiles wie folgt bestimmen:

$$ds = \sqrt{d\bar{x}^2 + dz^2} = \sqrt{1 + z'^2} \cdot d\bar{x} \sim \left[ 1 + \frac{1}{2} z'^2 \right] \cdot d\bar{x}, \quad (\text{C 1.03})$$

$$s = \int_0^l ds, \quad (\text{C 1.04})$$

$$s \sim \left[ 1 + \frac{8}{3} \left( \frac{f}{l} \right)^2 \right] \cdot l = r \cdot l. \quad (\text{C 1.05})$$

der

$$\Delta f = \frac{3}{16} \frac{l}{f} \cdot \Delta s = \mu \cdot \Delta s. \quad (\text{C1.08})$$

vobei

o daß schließlich

nit

$$\Delta T \Delta s = s \cdot \varepsilon \cdot \Delta T, \quad \varepsilon = \text{Temperaturkoeffizient} \quad (\text{C 2.05})$$

für  $\bar{x} = \frac{l}{2}$  ist  $\bar{z} = f$

$$\dot{z}_{(x)} + q + 1 q + 1 T w_{(x)} = \frac{q M_{(x)} + \Delta q M_{(x)}}{H + \Delta H} \quad (\text{C 4.04})$$

## D. Näherungsberechnung des hyperbolisch parabolisch geformten Seilnetzes unter vertikaler, annähernd gleichmäßiger Flächenlast $q$ und Temperaturänderung $\Delta T$

### 1. Belastungsfunktionen der Trag- und Rückhalteseile

Wird das vorgespannte Seilnetz durch eine zusätzliche Flächenlast  $\Delta q$  belastet, so wird das System der Tragseile zusätzlich belastet, während das System der Rückhalteseile entlastet wird. Die Verteilung der Zusatzlast auf die Trag- und Rückhalteseile ist abhängig von der Verformung der

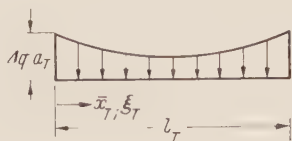


Abb. 12. Belastungsfunktion  $\Delta q_{T(\xi)}$

Seile. Der Verlauf der Größe einer Zusatzlast z. B.  $\Delta q \cdot a_T$  (Flächenlast multipliziert mit dem Abstände der Tragkabel) über die Länge eines Tragkabels wird etwa die in Abb. 12 dargestellte Form annehmen, die sich wie folgt in einer Reihe entwickeln läßt:

$$\Delta q_{T(\xi)} = a_T \cdot \Delta q - a_1 \cdot \sin \pi \cdot \xi - a_3 \cdot \sin 3 \cdot \pi \cdot \xi \dots \quad (D 1.01a)$$

oder

$$\frac{\Delta q_{T(\xi)}}{a_T} = \Delta q - a_1 \cdot \frac{\sin \pi \cdot \xi}{a_T} - a_3 \cdot \frac{\sin 3 \cdot \pi \cdot \xi}{a_T} \dots \quad (D 1.01b)$$

$$\frac{\Delta q_{T(\xi)}}{a_T} = \alpha_0 - a_1 \cdot \alpha_{1(\xi)} - a_3 \cdot \alpha_{3(\xi)} \dots \quad (D 1.02)$$

Die Belastung  $\Delta q_{T(\xi)}$  erzeugt ein Belastungsmoment, welches durch zweimalige Integration der Belastung die folgende Form annimmt:

$$\Delta M_{T(\xi)} = a_T \cdot \Delta q \cdot \frac{l_T^2}{2} \cdot (\xi - \xi^2) - a_1 \cdot \frac{l_T^2}{\pi^2} \cdot \sin \pi \cdot \xi - a_3 \cdot \frac{l_T^2}{3^2 \cdot \pi^2} \cdot \sin 3 \cdot \pi \cdot \xi \dots \quad (D 1.03)$$

Für ein Rückhalteseil wirkt die Belastung negativ als Entlastung. Die entsprechenden Ausdrücke für  $\Delta q_{R(\eta)}$  und  $\Delta M_{R(\eta)}$  lauten:

$$\Delta q_{R(\eta)} = -a_R \cdot \Delta q - b_1 \cdot \sin \pi \cdot \eta - b_3 \cdot \sin 3 \cdot \pi \cdot \eta \dots \quad (D 1.04a)$$

oder

$$\frac{\Delta q_{R(\eta)}}{a_R} = -\Delta q - b_1 \cdot \frac{\sin \pi \cdot \eta}{a_R} - b_3 \cdot \frac{\sin 3 \cdot \pi \cdot \eta}{a_R} \dots \quad (D 1.04b)$$

$$\frac{\Delta q_{R(\eta)}}{a_R} = -\beta_0 - b_1 \cdot \beta_{1(\eta)} - b_3 \cdot \beta_{3(\eta)} \dots \quad (D 1.05)$$

und

$$\Delta M_{R(\eta)} = -a_R \cdot \Delta q \cdot \frac{l_R^2}{2} \cdot (\eta - \eta^2) - b_1 \cdot \frac{l_R^2}{\pi^2} \sin \pi \cdot \eta - b_3 \cdot \frac{l_R^2}{3^2 \cdot \pi^2} \sin 3 \cdot \pi \cdot \eta \dots \quad (D 1.06)$$

### 2. Bestimmung der Verformungen der Trag- und Rückhalteseile

Das Momentengleichgewicht in der Mitte der Spannweite eines jeden Seiles lautet wieder:

$$[H + \Delta H] \cdot [f + \Delta f] = M_{(m)} + \Delta M_{(m)}, \quad (D 2.01a)$$

oder mit

$$\Delta f = {}^{el} \Delta f + {}^{1T} \Delta f - {}^{el} \Delta f + \mu \cdot s \cdot \varepsilon \cdot \Delta T \text{ und } f = f + \mu \cdot s \cdot \varepsilon \cdot \Delta T$$

in (D 2.01a) eingesetzt, ergibt sich:

$$H \cdot f + H \cdot \mu \cdot s \cdot \varepsilon \cdot \Delta T + \Delta H \cdot f + H \cdot {}^{el} \Delta f + \Delta H \cdot {}^{el} \Delta f = M_{(m)} + \Delta M_{(m)}. \quad (D 2.01b)$$

In der Gleichung (D 2.01b) kürzen sich wieder die Glieder  $H \cdot f$  und  $M_{(m)}$  heraus, weiter kann das Glied  $\Delta H \cdot {}^{el} \Delta f$  relativ klein vernachlässigt werden, so daß man weiter erhält:

$$\Delta H \cdot \bar{f} + H \cdot {}^{el} \Delta f = \Delta M_{(m)} - H \cdot \mu \cdot s \cdot \varepsilon \cdot \Delta T. \quad (D 2.01c)$$

Da  $\Delta H$  mit der elastischen Änderung nach der Gleichung (C 4.02) gekoppelt ist, läßt sich aus Gleichung (D 2.02)  ${}^{el} \Delta f$  wie folgt bestimmen:

$${}^{el} \Delta f = \frac{1}{H + \frac{f}{\mu \cdot \kappa}} \cdot [\Delta M_{(m)} - H \cdot \mu \cdot s \cdot \varepsilon \cdot \Delta T], \quad (D 2.02)$$

wobei der elastische Anteil der Gleichung (C 4.02) lautet:

$$\Delta H = \frac{{}^{el} \Delta f}{\mu \cdot \kappa}. \quad (D 2.03)$$

Die elastische und die Temperatur-Verformung beträgen dann:

$$\Delta f = \Delta T \Delta f + {}^{el} \Delta f = \mu \cdot s \cdot \varepsilon \cdot \Delta T + \frac{1}{H + \frac{f}{\mu \cdot \kappa}} \cdot [\Delta M_{(m)} - H \cdot \mu \cdot s \cdot \varepsilon \cdot \Delta T], \quad (D 2.04)$$

oder nach Umformung:

$$\Delta f = \varrho \cdot \Delta M_{(m)} + \varrho^* \cdot \mu \cdot s \cdot \varepsilon \cdot \Delta T. \quad (D 2.05)$$

Die Abkürzungen sind hierbei:

$$\varrho = \frac{1}{H + \frac{f}{\mu \cdot \kappa}} \text{ und } \varrho^* = 1 - \frac{H}{H + \frac{f}{\mu \cdot \kappa}}. \quad (D 2.06)$$

Zur Berechnung des Verlaufes der Seilverformung  $w$  über die Länge des Seiles wird eine einfache Sinuswelle für die Temperaturverformung angenommen, während die Belastungsverformung proportional dem zusätzlichen Belastungsmoment nach (D 1.03) oder (D 1.06) ist. Man erhält so für ein Trag- bzw. Rückhalteseil die folgenden Beziehungen:

$$\Delta w_{T(\xi)} = \varrho_T \cdot a_T \cdot \Delta q \cdot \frac{l_T^2}{2} \cdot (\xi - \xi^2) - \varrho_T \cdot a_1 \cdot \frac{l_T^2}{\pi^2} \cdot \sin \pi \cdot \xi - \varrho_T \cdot a_3 \cdot \frac{l_T^2}{3^2 \cdot \pi^2} \cdot \sin 3 \cdot \pi \cdot \xi + \dots + \varrho_T^* \cdot \mu \cdot s \cdot \varepsilon \cdot \Delta T \cdot \sin \pi \cdot \xi \quad (D 2.07)$$

oder

$$\Delta w_{T(\xi)} = \alpha_{0(\xi)} - \alpha_{1(\xi)} \cdot a_1 - \alpha_{3(\xi)} \cdot a_3 - \dots + {}^{1T} \alpha_{(\xi)} \quad (D 2.08)$$

und

$$\Delta w_{R(\eta)} = -\varrho_R \cdot a_R \cdot \Delta q \cdot \frac{l_R^2}{2} \cdot (\eta - \eta^2) + \varrho_R \cdot b_1 \cdot \frac{l_R^2}{2} \cdot \sin \pi \cdot \eta + \varrho_R \cdot b_3 \cdot \frac{l_R^2}{3^2 \cdot \pi^2} \cdot \sin 3 \cdot \pi \cdot \eta + \dots + \varrho_R^* \cdot \mu \cdot s \cdot \varepsilon \cdot \Delta T \cdot \sin \pi \cdot \eta \quad (D 2.09)$$

$$\Delta w_{R(\eta)} = -\beta_{0(\eta)} + \bar{\beta}_{1(\eta)} \cdot b_1 + \bar{\beta}_{3(\eta)} \cdot b_3 + \dots + {}^{AT} \bar{\beta}_{(\eta)}. \quad (D 2.10)$$

### 3. Bestimmung der Koeffizienten der Belastungsfunktionen

In den Abschnitten D<sub>1</sub> und D<sub>2</sub> wurden der funktionelle Verlauf der Belastungsanteile für die Trag- und Rückhalteseile in Reihen entwickelt und für diese sowohl die Verformungen der Seile als auch die Änderung der Seilkräfte bestimmt. Aus der Gleichsetzung der Verformungen der Seile werden nun die bisher nicht bekannten Koeffizienten der Belastungsfunktionen wie folgt ermittelt.

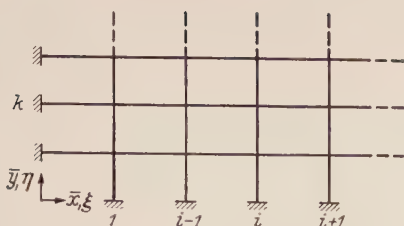


Abb. 13. Projektion des Seilnetzes.

Betrachten wir die projizierten Netzknoten des Seilnetzes in Abb. 13, so muß in jeder dieser Netzknoten einerseits die Summe der bezogenen Belastungen  $\frac{\Delta q_T}{a_T}$  und  $\frac{\Delta q_R}{a_R}$  des entsprechenden Tragseiles und des entsprechenden Rückhalteseiles gleich der äußeren Belastung  $\Delta q$  sein und andererseits müssen die Verformungen beider Seile in diesem Punkt übereinstimmen. Diese Betrachtung liefert zwei Bestimmungsgleichungen für jeden Netzknoten in der folgenden Form.

Für  $\xi = \xi$  und  $\eta = \eta$  der entsprechenden Seile gilt:

$$\text{I. } \frac{\Delta q_{T(\xi)}}{a_T} + \frac{\Delta q_{R(\eta)}}{a_R} = \Delta q, \quad (\text{D 3.01})$$

$$\text{II. } \Delta w_{T(\xi)} + \Delta w_{R(\eta)} = 0. \quad (\text{D 3.02})$$

Aus der ersten Bedingung erhält man mit den Gleichungen (D 1.02) und (D 1.05) und bei Beachtung der Werte  $a_0 = \beta_0 = \Delta q$

$$+ a_1 \cdot \alpha_1(\xi) + a_3 \cdot \alpha_3(\xi) + \dots + b_1 \cdot \beta_1(\eta) + b_3 \cdot \beta_3(\eta) + \dots = \Delta q. \quad (\text{D 3.03})$$

Aus der zweiten Bedingung bekommt man ferner mit den Gleichungen (D 2.09) und (D 2.11)

$$+ a_1 \cdot \alpha_1(\xi) + a_3 \cdot \alpha_3(\xi) + \dots - b_1 \cdot \beta_1(\eta) - b_3 \cdot \beta_3(\eta) + \dots = \alpha_0(\xi) + \Delta T \alpha_{(\xi)} - \beta_0(\eta) + \Delta T \beta_{(\eta)}. \quad (\text{D 3.04})$$

Es ergeben sich so für jeden Kreuzungspunkt der Seile im Seilnetz zwei Bestimmungsgleichungen für die Koeffizienten der Lastfunktionen. Da die Koeffizienten der höheren Sinusglieder schnell kleiner werden, ist ihr Einfluß gering. Diese Verhältnisse erlauben es, jeweils ein Seil gesondert zu untersuchen.

Im Falle eines Tragseiles  $k$ , in  $x$ -Richtung spannend, z. B. liefert die Aufstellung der Beziehungen I und II für die Seilpunkte im Drittelpunkt und Halbierungspunkt der Seilspannweite die Koeffizienten  $a_{1,k}$  und  $a_{3,k}$ , ferner die Koeffizienten der ersten Sinusglieder für die entsprechenden Rückhalteseile, nämlich  $b_{1,1/3}$  und  $b_{1,1/2}$ . Eine solche Reduzierung des Gleichungssystems zu 4 Gleichungen zeigt in der Regel für das untersuchte Seil, hier das Tragseil  $k$ , Ergebniswerte mit ausreichender Genauigkeit.

## Untersuchung der schiefen Platte mit Benutzung des Rechenautomaten

Von Masao Naruoka, Kyoto, Japan

OK 624.21.073.1.001.5 : 681.142 : 621-52

### 1. Einleitung

Um die modernen Straßen durch Begradigung den Anforderungen des heutigen Verkehrs mit seinen größeren Geschwindigkeiten bei vermehrter Sicherheit anzupassen, hat es sich als erforderlich erwiesen, eine beträchtliche Anzahl von schiefen Brücken zu entwerfen. Trotzdem sind in der Literatur verhältnismäßig wenige Betrachtungen über die schiefe Platte zu finden.

Die schiefe Platte ist umfassend untersucht worden von V. P. Jensen. Die untersuchten Platten haben verschiedene Schiefewinkel und verschiedene Grenzbedingungen und sind gleichförmig oder durch Raddrücke belastet. Besonders untersucht ist die einfache Plattenbrücke mit Bordsteinen.

Die Platte einer geraden Balkenbrücke wird nach der üblichen Formel berechnet. Diese Formel ist von der einfach gestützten, unendlich langen Platte bei gleichförmig verteilter Teilbelastung über ein rechteckiges Flächenstück abgeleitet. Diese übliche Formel ist auf die schiefe Balkenbrücke nicht anzuwenden, ohne den Einfluß der benachbarten schiefen Seite zu berücksichtigen. Infolge Fehlens von analytischen Daten stützt sich die Berechnung schiefer Platten hauptsächlich auf empirische, durch gesetzliche Vorschriften festgelegte Regeln.

Um zur Untersuchung der schiefen Brücke beizutragen, wird nachstehend das Verhalten der schiefen Platte unter dem Einfluß einer Radlast erforscht.

### 2. Annahmen und Berechnungsverfahren

Für die Untersuchung der schiefen Platte ist eine Parallelogrammplatte gewählt, die an den vier Rändern einfach gestützt ist. Betrachtet man die schiefe Platte einer schiefen Plattenbalkenbrücke, so sind zwei gegenüberliegende Ränder als einfach gestützt anzunehmen, weil diese Ränder auf den Plattenträgern gelagert sind. Die schiefen Seiten sind auch als einfach gestützt angenommen, weil man sie als auf dem Endträger oder Querrahmen einfach aufliegend denken kann. Diese Annahme vereinfacht die Berechnung.

Die Untersuchung ist für schiefe Platten durchgeführt, in denen das Verhältnis der langen zur kurzen Spannweite für  $60^\circ$  und  $45^\circ$  schiefe Platten zu 2,0 gewählt ist und zu 3,0 für die  $30^\circ$  schiefe. Wenn das Verhältnis zu 2,0 oder 3,0 gewählt ist, so kann der Einfluß der einfach gestützten schiefen Seite auf das Biegemoment in größerer Entfernung von der Last gegenüber dem Einfluß einer näher zur schiefen Seite liegenden Last als sehr klein angenommen werden.

Das Verhalten der schiefen Platte wurde mittels der Differenzengleichung bestimmt. Diese Methode wurde bereits von C. V. Brigatti, H. Vogt und V. P. Jensen auf die schiefe Platte angewandt. Die Ungenauigkeit, die beim Ersatz der Differentialgleichung durch ein Netz von Differenzengleichungen entsteht, kann durch Vermehrung der Anzahl der Gleichungen verringert werden. Je größer jedoch die Zahl der Gleichungen, um so mehr Arbeit erfordert die Berechnung, wenn man die gewöhnliche Handrechnung benutzt. Benutzt man dagegen einen Rechenautomaten für die Lösung der einzelnen Gleichungen, so kann man viel Zeit und Kosten sparen.

In USA werden zum Auflösen von einzelnen Gleichungen in großem Maße Rechenautomaten verwendet, wie NORC (Naval Ordnance Research Computer), ILLIAC (University of Illinois Electronic Automatic Computer), SEAC (National Bureau of Standards Eastern Automatic Computer). Für die vorliegende Untersuchung wurde ein Facom-128 (Fuji Relay Automatic Computer) benutzt, um die Einflußkoeffizienten für die Durchbiegung und das Biegemoment zu erhalten.

Es sind zwei Systeme von Netzwerken im Gebrauch, nämlich eins, in dem die Grundmasche ein Parallelogramm ist, das aus parallel zu den Seiten des schiefen Feldes geführten Linien besteht, und eins, in dem die Grundmasche ein Dreieck ist. V. P. Jensen hat in seiner Untersuchung der schiefen Plattenbrücke ein Dreiecknetz verwendet. Ein Netzwerk von Punkten in den schiefen Koordinaten wird häufig benutzt: Newmark benutzt solche in seiner Untersuchung einer schiefen I-Trägerbrücke über einer Öffnung.

Trotzdem ist es für die Lösung der vorliegenden Aufgabe besser, ein Dreiecknetz anzunehmen.

In Anlehnung an seine Untersuchung ist für die Lösung der 45° schiefen Platte ein Viereck- und die 30° und 60° schiefen Platten ein Dreiecknetz benutzt worden.

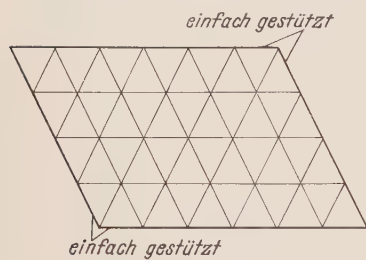


Abb. 1.

Für das in Abb. 1 gezeigte endgültige Netzwerk sind die Differenzengleichungen und das Moment für a) innere Hauptpunkte, b) innere Punkte in der Nähe der einfach gestützten Ränder, c) innere Punkte in der Nähe der spitzen Winkel und d) innere Punkte in der Nähe der stumpfen Winkel im Bulletin Nr. 332 der University of Illinois angegeben und hier weggelassen.

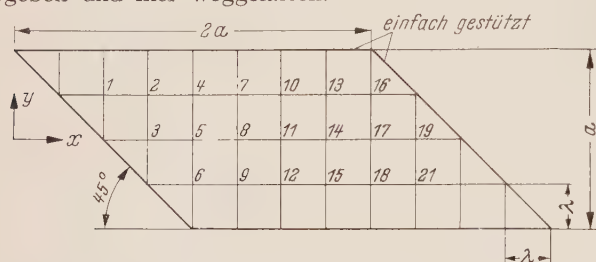


Abb. 2.

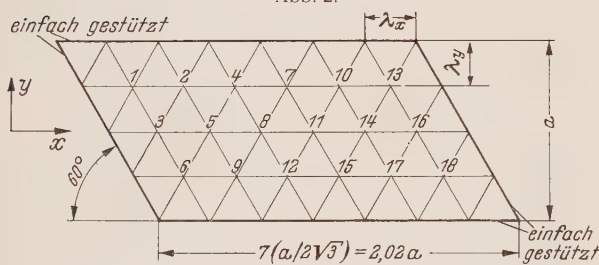


Abb. 3.

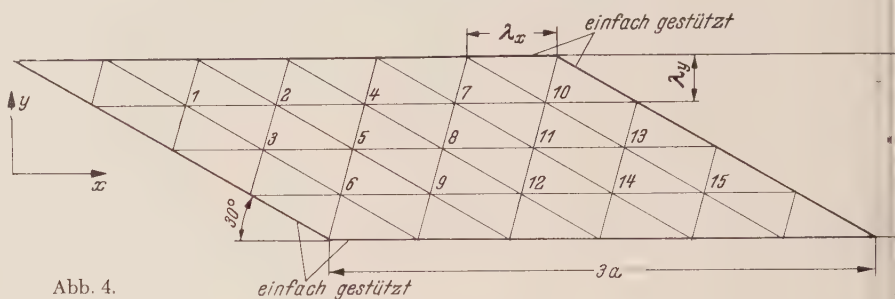


Abb. 4.

### 3. Ergebnisse der maschinellen Lösung

a) Die unter 45° schiefe, in den vier Ecken einfach gestützte Platte.

Die Differenzengleichungen für das in Abb. 2 dargestellte Netzwerk sind aus Tab. 1 ersichtlich.

Die umgekehrte Matrix für die Beiwerte der linken Seite der einzelnen Gleichungen sind mit der Facom-128 in nur 104 Minuten berechnet. Bei Benutzung dieser umgekehrten Matrix können die Einflußkoeffizienten für die Durchbiegung und das Moment berechnet werden, wie aus Tab. 2 und 3 zu ersehen.

b) Die unter 60° schiefe, an vier Rändern einfach gestützte Platte.

Die Differenzengleichungen für das in Abb. 3 gezeigte Netzwerk zeigt Tab. 4. Die umgekehrte Matrix und die Einflußkoeffizienten für die Durchbiegung und Momente für die linke Seite der einzelnen Gleichungen sind mit der Facom-128 in nur 67 Minuten berechnet worden. Die Tab. 5 und 6 zeigen die mit Benutzung dieser umgekehrten Matrix berechneten Einflußkoeffizienten für die Durchbiegung und das Moment.

c) Die 30° schiefe, an vier Rändern einfach gestützte Platte.

Die Differenzengleichungen für das in Abb. 4 gezeigte Netzwerk sind in Tab. 7 dargestellt. Die umgekehrte Matrix für die Koeffizienten der linken Seite der einzelnen Gleichungen wurde mit der Facom-128 in nur 38 Minuten berechnet. Mit Benutzung dieser umgekehrten Matrix konnten die Einflußkoeffizienten für die Durchbiegung und das Moment, wie aus den Tab. 8 und 9 ersichtlich, berechnet werden.

Tabelle 1. Differenzengleichung für das Vierecknetz der 45° schiefen Platte mit vier einfach gestützten Rändern ( $Q_i = q_i \lambda^4 / D$ ).

|     | $w_1$ | $w_2$ | $w_3$ | $w_4$ | $w_5$ | $w_6$ | $w_7$ | $w_8$ | $w_9$ | $w_{10}$ | $w_{11}$ | $w_{12}$ | $w_{13}$ | $w_{14}$ | $w_{15}$ | $w_{16}$ | $w_{17}$ | $w_{18}$ | $w_{19}$ | $w_{20}$ | $w_{21}$ | =  |          |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----|----------|
| 1.  | 17    | -8    | 1     | 1     |       |       |       |       |       |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |    | $Q_1$    |
| 2.  | -8    | 19    | -8    | -8    | 2     |       | 1     |       |       |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |    | $Q_2$    |
| 3.  | 1     | -8    | 18    | 2     | -8    | 1     |       | 1     |       |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |    | $Q_3$    |
| 4.  | 1     | -8    | 2     | 19    | -8    | 1     | -8    | 2     |       | 1        |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |    | $Q_4$    |
| 5.  |       | 2     | -8    | -8    | 20    | -8    | 2     | -8    | 2     |          | 1        |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |    | $Q_5$    |
| 6.  |       |       | 1     | 1     | -8    | 18    |       | 2     | -8    |          |          | 1        |          |          |          |          |          |          |          |          |          |    | $Q_6$    |
| 7.  |       |       | 1     |       | -8    | 2     |       | 19    | -8    | 1        | -8       | 2        |          | 1        |          |          |          |          |          |          |          |    | $Q_7$    |
| 8.  |       |       |       | 1     | 2     | -8    | 2     | -8    | 20    | -8       | 2        | -8       | 2        |          | 1        |          |          |          |          |          |          |    | $Q_8$    |
| 9.  |       |       |       |       | 2     | -8    | 1     | -8    | 19    |          | 2        | -8       |          |          | 1        |          |          |          |          |          |          |    | $Q_9$    |
| 10. |       |       |       |       | 1     |       | -8    | 2     |       | 19       | -8       | 1        | -8       | 2        |          | 1        |          |          |          |          |          |    | $Q_{10}$ |
| 11. |       |       |       |       |       | 1     |       | 2     | -8    | 2        | -8       | 20       | -8       | 2        | -8       | 2        |          | 1        |          |          |          |    | $Q_{11}$ |
| 12. |       |       |       |       |       |       | 1     |       | 2     | -8       | 1        | -8       | 19       |          | 2        | -8       |          |          | 1        |          |          |    | $Q_{12}$ |
| 13. |       |       |       |       |       |       |       | 1     |       | -8       | 2        |          | 19       | -8       | 1        | -8       | 2        |          |          |          |          |    | $Q_{13}$ |
| 14. |       |       |       |       |       |       |       |       | 1     |          | 2        | -8       | 2        | -8       | 20       | -8       | 2        | -8       | 2        | 1        |          |    | $Q_{14}$ |
| 15. |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 1        |          | 2        | -8       | 1        | -8       | 19       |          |          |          |          | 1        |    | $Q_{15}$ |
| 16. |       |       |       |       |       |       |       |       |       |          | 1        |          | -8       | 2        |          | 18       | -8       | 1        | 1        |          |          |    | $Q_{16}$ |
| 17. |       |       |       |       |       |       |       |       |       |          |          | 1        |          | 2        | -8       | 2        | -8       | 20       | -8       | -8       | 2        |    | $Q_{17}$ |
| 18. |       |       |       |       |       |       |       |       |       |          |          |          | 1        |          | 2        | -8       | 1        | -8       | 19       | 2        | -8       | 1  | $Q_{18}$ |
| 19. |       |       |       |       |       |       |       |       |       |          |          |          |          | 1        |          | 1        | -8       | 2        | 18       | -8       |          | 1  | $Q_{19}$ |
| 20. |       |       |       |       |       |       |       |       |       |          |          |          |          |          |          | 1        |          | 2        | -8       | -8       | 19       | -8 | $Q_{20}$ |
| 21. |       |       |       |       |       |       |       |       |       |          |          |          |          |          |          |          |          |          | 1        | 1        | -8       | 17 | $Q_{21}$ |

Tabelle 2. Einflußkoeffizient für die Durchbiegung der 45° schiefen Platte  
mit vier einfach gestützten Rändern (Einheit 10<sup>-5</sup>) ( $Q_i = q_i \lambda_y^4 / D$ ).

|    | $Q_1$ | $Q_2$ | $Q_3$ | $Q_4$ | $Q_5$ | $Q_6$ | $Q_7$ | $Q_8$ | $Q_9$ | $Q_{10}$ | $Q_{11}$ | $Q_{12}$ | $Q_{13}$ | $Q_{14}$ | $Q_{15}$ | $Q_{16}$ | $Q_{17}$ | $Q_{18}$ | $Q_{19}$ | $Q_{20}$ | $Q_{21}$ |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1  | 8112  | 5445  | 2587  | 3068  | 2502  | 989   | 1679  | 1769  | 956   | 909      | 1098     | 675      | 477      | 623      | 410      | 213      | 312      | 218      | 108      | 94       | 25       |
| 2  | 5445  | 13767 | 7947  | 9626  | 8413  | 3459  | 5747  | 6235  | 3432  | 3252     | 3975     | 2463     | 1744     | 2294     | 1514     | 788      | 1160     | 813      | 405      | 350      | 94       |
| 3  | 2587  | 7947  | 12174 | 7419  | 10604 | 4546  | 5234  | 7300  | 4268  | 3254     | 4531     | 2949     | 1836     | 2592     | 1772     | 852      | 1310     | 941      | 460      | 405      | 108      |
| 4  | 3068  | 9626  | 7419  | 17441 | 14160 | 6310  | 12199 | 12497 | 6931  | 7301     | 8613     | 5296     | 4020     | 5176     | 3387     | 1839     | 2676     | 1864     | 941      | 813      | 218      |
| 5  | 2502  | 8413  | 10604 | 14160 | 23026 | 11414 | 12226 | 18404 | 11365 | 8351     | 12124    | 8112     | 4956     | 7160     | 4972     | 2361     | 3688     | 2676     | 1310     | 1160     | 312      |
| 6  | 989   | 3459  | 4546  | 6310  | 11414 | 12965 | 6218  | 10569 | 10038 | 4651     | 7427     | 6235     | 2920     | 4515     | 3546     | 1437     | 2361     | 1839     | 852      | 788      | 213      |
| 7  | 1679  | 5747  | 5234  | 12199 | 12226 | 6218  | 19266 | 17263 | 9305  | 13227    | 14171    | 8356     | 7616     | 9240     | 5849     | 3546     | 4972     | 3387     | 1772     | 1514     | 410      |
| 8  | 1769  | 6235  | 7300  | 12497 | 18404 | 10569 | 17263 | 28374 | 16692 | 14098    | 21456    | 13979    | 9095     | 13455    | 9240     | 4515     | 7160     | 5176     | 2592     | 2294     | 623      |
| 9  | 956   | 3432  | 4268  | 6931  | 11365 | 10038 | 9305  | 16692 | 18405 | 8214     | 13847    | 12900    | 5647     | 9095     | 7616     | 2920     | 4956     | 4020     | 1836     | 1744     | 477      |
| 10 | 909   | 3252  | 3254  | 7301  | 8351  | 4651  | 13227 | 14098 | 8214  | 19654    | 18020    | 10050    | 12900    | 13979    | 8356     | 6235     | 8112     | 5296     | 2949     | 2463     | 675      |
| 11 | 1098  | 3975  | 4531  | 8613  | 12124 | 7427  | 14171 | 21456 | 13847 | 18020    | 29764    | 18020    | 13847    | 21456    | 14171    | 7427     | 12124    | 8613     | 4531     | 3975     | 1097     |

Tabelle 3. Einflußkoeffizient für das Biegemoment  $M_x$  (obere Werte),  $M_y$  (mittlere Werte) und Drehmoment  $M_{xy}$  (untere Werte)  
für die 45° schiefe Platte mit vier einfach gestützten Rändern (Einheit 10<sup>-5</sup>) ( $P_i = q_i \lambda^2$ ).

| $P_1$ | $P_2$ | $P_3$ | $P_4$ | $P_5$ | $P_6$ | $P_7$ | $P_8$ | $P_9$ | $P_{10}$ | $P_{11}$ | $P_{12}$ | $P_{13}$ | $P_{14}$ | $P_{15}$ | $P_{16}$ | $P_{17}$ | $P_{18}$ | $P_{19}$ | $P_{20}$ | $P_{21}$ |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 3489  | -1057 | -1908 | -2466 | -2572 | -1151 | -1829 | -2103 | -1200 | -1130    | -1414    | -888     | -633     | -841     | -559     | -293     | -434     | -305     | -152     | -132     | -36      |
| 8025  | 10409 | 4713  | 5552  | 4437  | 1730  | 2958  | 3901  | 1659  | 1579     | 1896     | 1163     | 819      | 1069     | 701      | 363      | 532      | 372      | 185      | 160      | 42       |
| 2228  | 2789  | 3074  | 2184  | 2730  | 1153  | 1440  | 1889  | 1088  | 867      | 1172     | 755      | 481      | 670      | 454      | 222      | 338      | 242      | 118      | 104      | 28       |
| 1110  | 15734 | 6510  | 720   | 1204  | 16    | -1338 | -934  | -590  | -1163    | -1190    | -716     | -734     | -878     | -559     | -356     | -497     | -341     | -183     | -158     | -41      |
| 8256  | 21669 | 4705  | 11625 | 6845  | 2309  | 5863  | 4869  | 2425  | 2966     | 3123     | 1799     | 1482     | 1791     | 1126     | 642      | 898      | 609      | 307      | 259      | 72       |
| 521   | 1752  | 2208  | 2949  | 4795  | 2377  | 2549  | 3833  | 2367  | 1739     | 2525     | 1689     | 1032     | 1491     | 1035     | 491      | 768      | 557      | 273      | 242      | 65       |
| 2598  | 7835  | 16483 | 1547  | 319   | -1382 | -970  | -2407 | -1976 | -1302    | -2209    | -1636    | -960     | -1191    | -1087    | -503     | -822     | -614     | -302     | -272     | -76      |
| 145   | 3374  | 18695 | 5323  | 12491 | 5245  | 4427  | 7730  | 4632  | 2945     | 4579     | 3069     | 1716     | 2563     | 1795     | 807      | 1284     | 938      | 451      | 402      | 106      |
| 1759  | 1504  | 2476  | -134  | 2158  | 2539  | 194   | 1480  | 1735  | 315      | 925      | 950      | 253      | 532      | 488      | 138      | 272      | 236      | 100      | 99       | 27       |
| -383  | 1550  | 2363  | 16518 | 8565  | 3145  | 1417  | 2597  | 1542  | -834     | -70      | 185      | -805     | -651     | -290     | -437     | -504     | -298     | -200     | -160     | -48      |
| 3468  | 10797 | 4511  | 22904 | 6577  | 1698  | 12069 | 6840  | 2684  | 5937     | 4946     | 2441     | 2862     | 2992     | 1700     | 1207     | 1532     | 972      | 522      | 427      | 112      |
| -170  | -357  | -1015 | 1057  | 1624  | 1254  | 2505  | 4389  | 2587  | 2258     | 3524     | 2297     | 1511     | 2262     | 1555     | 763      | 1218     | 882      | 444      | 393      | 107      |
| 808   | 3271  | 3278  | 9167  | 20463 | 8306  | 2964  | 3428  | 2733  | 145      | -328     | 79       | -525     | -954     | -566     | -405     | -704     | -491     | -294     | -263     | 76       |
| 1069  | 4182  | 2449  | 5971  | 23324 | 4841  | 6362  | 13931 | 6057  | 4643     | 7917     | 4575     | 2799     | 4342     | 2833     | 1337     | 2157     | 1521     | 755      | 656      | 175      |
| 985   | 2385  | 1454  | 907   | 1573  | 1516  | -878  | 1180  | 2660  | -367     | 760      | 1459     | -47      | 447      | 683      | 34       | 238      | 301      | 97       | 121      | 34       |
| 932   | 3233  | 4571  | 5433  | 11430 | 18316 | 3165  | 4903  | 3123  | 1247     | 1461     | 297      | 342      | 247      | -170     | 40       | -62      | -175     | -68      | -98      | -31      |
| -355  | -915  | -707  | -588  | 1716  | 17170 | 732   | 3476  | 8987  | 1133     | 2898     | 4287     | 918      | 1859     | 2032     | 506      | 994      | 945      | 371      | 389      | 106      |
| 376   | 1077  | 1962  | 257   | 753   | 1446  | -1210 | -2188 | -497  | -1290    | -1978    | -998     | -903     | -1322    | -817     | -463     | -726     | -499     | -267     | -229     | -63      |
| 355   | -507  | 324   | 1643  | 2952  | 1786  | 16657 | 8960  | 3783  | 1563     | 2861     | 1823     | -663     | 165      | 368      | -550     | -379     | -118     | -187     | -125     | -42      |
| 1484  | 5027  | 3134  | 12384 | 6372  | 2112  | 23457 | 7477  | 2495  | 12273    | 7174     | 2962     | 5855     | 4913     | 2452     | 2414     | 2642     | 1535     | 394      | 693      | 183      |
| -292  | -924  | -1265 | -1155 | -2270 | -830  | 405   | 636   | 517   | 2013     | 3674     | 2063     | 1852     | 2977     | 1916     | 1055     | 1757     | 1236     | 671      | 586      | 163      |
| 86    | 629   | 318   | 3199  | 3864  | 3113  | 9124  | 24693 | 9121  | 2953     | 3509     | 2945     | 209      | -273     | 174      | -331     | -757     | -441     | -394     | -324     | -101     |
| 890   | 3303  | 5009  | 6233  | 13493 | 5266  | 7312  | 25613 | 7041  | 7059     | 15061    | 7004     | 4825     | 8290     | 4904     | 2436     | 4143     | 2791     | 1466     | 1238     | 334      |
| 384   | 495   | 535   | 1901  | 522   | -1056 | 231   | 377   | 329   | -1448    | 247      | 1804     | -747     | 162      | 981      | -246     | 115      | 423      | 82       | 170      | 50       |
| 273   | 1048  | 1249  | 2480  | 3927  | 2464  | 4262  | 9674  | 17234 | 2117     | 3292     | 1885     | 527      | 369      | -540     | -26      | -340     | -623     | -256     | -353     | -112     |
| 186   | 788   | 1411  | 1739  | 4861  | 9653  | 2022  | 6487  | 22436 | 2619     | 6618     | 11807    | 2226     | 4665     | 5735     | 1285     | 2619     | 2679     | 1006     | 1101     | 302      |
| 292   | 924   | 1265  | 1155  | 2270  | 830   | -405  | -636  | -517  | -2013    | -3674    | -2063    | -1852    | -2977    | -1916    | -1055    | -1757    | -1236    | -671     | -586     | -163     |
| -219  | -564  | -231  | -618  | 285   | 478   | 1623  | 2961  | 1909  | 16736    | 9068     | 3882     | 1774     | 3111     | 1799     | -274     | 572      | 608      | 84       | 138      | 29       |
| 663   | 2363  | 1885  | 5718  | 4498  | 1903  | 12212 | 7044  | 2829  | 23490    | 7614     | 2670     | 11913    | 6840     | 2978     | 4855     | 4083     | 2029     | 1340     | 948      | 253      |
| -238  | -821  | -981  | -1524 | -2342 | 1261  | -1671 | -3107 | -1582 | -25      | 0        | 25       | 1582     | 3107     | 1671     | 1261     | 2342     | 1524     | 981      | 821      | 238      |
| -94   | -202  | -356  | 326   | -17   | 433   | 2969  | 3560  | 3005  | 9020     | 20542    | 9020     | 3005     | 3560     | 2969     | 433      | -17      | 326      | -356     | -202     | -94      |
| 582   | 2141  | 2716  | 4556  | 7566  | 3930  | 7068  | 15017 | 6896  | 7664     | 26264    | 7664     | 6896     | 15017    | 7068     | 3930     | 7566     | 4556     | 2716     | 2141     | 582      |
| 136   | 434   | 188   | 966   | 183   | -665  | 1706  | 149   | -1485 | 98       | 135      | 98       | -1485    | 149      | 1706     | -665     | 183      | 966      | 188      | 434      | 136      |

Tabelle 4. Differenzengleichung für das Dreiecknetz der 60° schiefen Platte mit in vier  
Ecken einfach gestützten Rändern ( $Q_i = 4q_i \lambda_y^4 / D$ ).

|     | $w_1$ | $w_2$ | $w_3$ | $w_4$ | $w_5$ | $w_6$ | $w_7$ | $w_8$ | $w_9$ | $w_{10}$ | $w_{11}$ | $w_{12}$ | $w_{13}$ | $w_{14}$ | $w_{15}$ | $w_{16}$ | $w_{17}$ | $w_{18}$ | =        |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1.  | 38    | -11   | -11   | 1     | 2     | 1     |       |       |       |          |          |          |          |          |          |          |          |          | $Q_1$    |
| 2.  | -11   | 40    | -10   | -11   | -10   | 2     | 1     | 2     | 1     |          |          |          |          |          |          |          |          |          | $Q_2$    |
| 3.  | -11   | -10   | 40    | 2     | -10   | -11   |       | 1     | 2     |          |          |          |          |          |          |          |          |          | $Q_3$    |
| 4.  | 1     | -11   | 2     | 40    | -10   | 1     | -11   | -10   | 2     | 1        | 2        | 1        |          |          |          |          |          |          | $Q_4$    |
| 5.  | 2     | -10   | -10   | -10   | 42    | -10   | 2     | -10   | -10   |          | 1        | 2        |          |          |          |          |          |          | $Q_5$    |
| 6.  | 1     | 2     | -11   | 1     | -10   | 39    |       | 2     | -11   |          |          | 1        |          |          |          |          |          |          | $Q_6$    |
| 7.  |       | 1     |       | -11   | 2     |       | 40    | -10   | 1     | -11      | -10      | 2        | 1        | 2        | 1        |          |          |          | $Q_7$    |
| 8.  |       | 2     | 1     | -10   | -10   | 2     | -10   | 42    | -10   | 2        | -10      | -10      |          | 1        | 2        |          |          |          | $Q_8$    |
| 9.  |       |       | 1     | 2     | 2     | -10   | -11   | 1     | -10   | 40       |          | 2        | -11      |          | 1        |          |          |          | $Q_9$    |
| 10. |       |       |       | 1     |       |       | -11   | 2     |       | 40       | -10      | 1        | -11      | -10      | 2        | 2        | 1        |          | $Q_{10}$ |
| 11. |       |       |       | 2     | 1     |       | -10   | -10   | 2     | -10      | 42       | -10      | 2        | -10      | -10      | 1        | 2        |          | $Q_{11}$ |
| 12. |       |       |       | 1     | 2     | 1     | 2     | -10   | -11   | 1        | -10      | 40       |          | 2        | -11      |          | 1        |          | $Q_{12}$ |
| 13. |       |       |       |       |       |       | 1     |       |       | -11      | 2        |          | 39       | -10      | 1        | -11      | 2        | 1        | $Q_{13}$ |
| 14. |       |       |       |       |       |       | 2     | 1     |       | -10      | -10      | 2        | -10      | 42       | -10      | -10      | -10      | 2        | $Q_{14}$ |
| 15. |       |       |       |       |       |       | 1     | 2     | 1     | 2        | -10      | -11      | 1        | -10      | 40       | 2        | -11      | 1        | $Q_{15}$ |
| 16. |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 2        | 1        |          | -11      | -10      | 2        | 40       | -10      | -11      | $Q_{16}$ |
| 17. |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 1        | 2        | 1        | 2        | -10      | -11      | -10      | 40       | -11      | $Q_{17}$ |
| 18. |       |       |       |       |       |       |       |       |       |          |          |          | 1        | 2        | 1        | -11      | -11      | 38       | $Q_{18}$ |

Tabelle 5. Einflußkoeffizient für die Durchbiegung der 60° schiefen Platte mit vier einfach gestützten Rändern (Einheit 10<sup>-5</sup>) ( $Q_i = q_i \lambda_y^4 / D$ ).

|                | Q <sub>1</sub> | Q <sub>2</sub> | Q <sub>3</sub> | Q <sub>4</sub> | Q <sub>5</sub> | Q <sub>6</sub> | Q <sub>7</sub> | Q <sub>8</sub> | Q <sub>9</sub> | Q <sub>10</sub> | Q <sub>11</sub> | Q <sub>12</sub> | Q <sub>13</sub> | Q <sub>14</sub> | Q <sub>15</sub> | Q <sub>16</sub> | Q <sub>17</sub> | Q <sub>18</sub> |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| w <sub>1</sub> | 3739           | 2180           | 2157           | 1140           | 1746           | 990            | 578            | 1043           | 842            | 279             | 550             | 511             | 116             | 262             | 267             | 98              | 121             | 39              |
| w <sub>2</sub> | 2180           | 5531           | 3250           | 3266           | 4244           | 1994           | 1714           | 2891           | 2117           | 846             | 1614            | 1425            | 357             | 792             | 784             | 299             | 366             | 121             |
| w <sub>3</sub> | 2157           | 3250           | 5404           | 2280           | 4108           | 2750           | 1299           | 2475           | 2172           | 661             | 1326            | 1277            | 282             | 639             | 660             | 240             | 299             | 98              |
| w <sub>4</sub> | 1140           | 3266           | 2280           | 6227           | 4734           | 1991           | 3625           | 5021           | 2879           | 1848            | 3239            | 2516            | 795             | 1695            | 1575            | 660             | 784             | 266             |
| w <sub>5</sub> | 1746           | 4244           | 4108           | 4734           | 8462           | 3880           | 3116           | 5841           | 4661           | 1688            | 3337            | 3103            | 743             | 1670            | 1695            | 639             | 792             | 262             |
| w <sub>6</sub> | 990            | 1994           | 2750           | 1991           | 3880           | 4821           | 1334           | 2686           | 2990           | 732             | 1508            | 1594            | 323             | 743             | 795             | 282             | 357             | 116             |
| w <sub>7</sub> | 578            | 1714           | 1299           | 3625           | 3116           | 1334           | 6377           | 5127           | 2502           | 3600            | 5123            | 3063            | 1594            | 3103            | 2516            | 1277            | 1425            | 511             |
| w <sub>8</sub> | 1043           | 2891           | 2475           | 5021           | 5841           | 2686           | 5127           | 9360           | 4981           | 3220            | 6206            | 5123            | 1508            | 3337            | 3239            | 1326            | 1614            | 550             |
| w <sub>9</sub> | 842            | 2117           | 2172           | 2879           | 4661           | 2990           | 2502           | 4981           | 6147           | 1559            | 3220            | 3600            | 732             | 1688            | 1848            | 661             | 846             | 279             |

Tabelle 6. Einflußkoeffizient für das Biegemoment  $M_x$  (obere Werte),  $M_y$  (mittlere Werte) und Drehmoment  $M_{xy}$  (untere Werte) für die 60° schiefe Platte mit vier einfach gestützten Rändern (Einheit 10<sup>-4</sup>) ( $P_i = q_i \lambda_y^2$ ).

|    | P <sub>1</sub> | P <sub>2</sub> | P <sub>3</sub> | P <sub>4</sub> | P <sub>5</sub> | P <sub>6</sub> | P <sub>7</sub> | P <sub>8</sub> | P <sub>9</sub> | P <sub>10</sub> | P <sub>11</sub> | P <sub>12</sub> | P <sub>13</sub> | P <sub>14</sub> | P <sub>15</sub> | P <sub>16</sub> | P <sub>17</sub> | P <sub>18</sub> |
|----|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 1. | 1928           | -150           | 409            | -203           | -116           | 36             | -124           | -172           | -83            | -67             | -116            | -89             | -29             | -62             | -57             | -24             | -29             | -10             |
|    | 2296           | 1152           | 591            | 505            | 613            | 243            | 231            | 379            | 262            | 105             | 201             | 174             | 43              | 95              | 94              | 36              | 43              | 13              |
|    | 311            | 469            | 780            | 329            | 593            | 397            | 187            | 357            | 313            | 95              | 191             | 184             | 41              | 92              | 95              | 35              | 43              | 14              |
| 2. | 14             | 2080           | 701            | -34            | 716            | 330            | -138           | 28             | 200            | -89             | -99             | -6              | -42             | -76             | -52             | -35             | -36             | -13             |
|    | 988            | 2646           | 595            | 1252           | 781            | 219            | 527            | 664            | 301            | 228             | 386             | 273             | 90              | 190             | 170             | 71              | 83              | 28              |
|    | -59            | 143            | -187           | 354            | 628            | 163            | 262            | 486            | 359            | 148             | 290             | 263             | 67              | 149             | 149             | 58              | 71              | 24              |
| 3. | 784            | 750            | 2348           | 41             | 154            | 566            | -94            | -143           | 2              | -77             | -140            | -103            | -40             | -86             | -80             | -36             | -43             | -64             |
|    | 215            | 547            | 2358           | 553            | 1351           | 559            | 340            | 700            | 564            | 176             | 361             | 343             | 75              | 171             | 178             | 64              | 80              | 27              |
|    | 368            | -196           | 239            | -19            | 199            | 551            | 29             | 121            | 247            | 24              | 64              | 98              | 10              | 31              | 40              | 12              | 16              | 5               |
| 4. | -76            | -4             | 87             | 2082           | 752            | 232            | -29            | 737            | 385            | -130            | 40              | 216             | -71             | -83             | 3               | -50             | -38             | -10             |
|    | 379            | 1222           | 506            | 2753           | 821            | 247            | 1293           | 876            | 318            | 534             | 695             | 341             | 204             | 380             | 281             | 148             | 157             | 56              |
|    | -101           | -195           | -236           | 41             | -378           | -172           | 290            | 508            | 46             | 221             | 414             | 291             | 110             | 241             | 223             | 99              | 119             | 42              |
| 5. | 144            | 801            | 295            | 767            | 2521           | 783            | 56             | 217            | 766            | -87             | -117            | 55              | -61             | -405            | -85             | -61             | -191            | -65             |
|    | 353            | 696            | 1179           | 806            | 2917           | 629            | 668            | 1565           | 794            | 358             | 797             | 665             | 168             | 433             | 376             | 145             | 179             | 59              |
|    | 129            | 345            | 57             | -299           | 42             | -264           | -107           | 24             | 346            | -25             | 13              | 132             | -4              | 6               | 38              | 3               | 10              | 3               |
| 6. | 324            | 546            | 993            | 344            | 977            | 2308           | 78             | 192            | 125            | -7              | -12             | -50             | -15             | -35             | -46             | -19             | -26             | -10             |
|    | -36            | -97            | 132            | 135            | 436            | 2199           | 176            | 467            | 1034           | 121             | 284             | 420             | 58              | 142             | 178             | 54              | 74              | 23              |
|    | 59             | -143           | 187            | -354           | -628           | -163           | -262           | -496           | -359           | -148            | -290            | -263            | -67             | -149            | -149            | -58             | -71             | -24             |
| 7. | -50            | -115           | -50            | -26            | 56             | 23             | 2076           | 735            | 221            | -18             | 738             | 381             | -96             | 65              | 224             | -35             | 26              | -9              |
|    | 150            | 484            | 282            | 1249           | 634            | 217            | 2793           | 847            | 311            | 1240            | 843             | 320             | 447             | 622             | 310             | 261             | 227             | 109             |
|    | -71            | -184           | -166           | -257           | -361           | -170           | -1             | -455           | -254           | 254             | 455             | 1               | 170             | 361             | 257             | 166             | 184             | 71              |
| 8. | -23            | 79             | -41            | 748            | 225            | 90             | 736            | 2465           | 750            | 48              | 190             | 735             | -64             | -112            | 46              | -87             | -72             | -40             |
|    | 231            | 612            | 598            | 865            | 1556           | 568            | 888            | 3105           | 855            | 686             | 1637            | 887             | 336             | 792             | 690             | 284             | 360             | 123             |
|    | 33             | 124            | 12             | 323            | 9              | -107           | -316           | 5              | -313           | -117            | 3               | 322             | -28             | 3               | 121             | 3               | 34              | 8               |
| 9. | 72             | 275            | 160            | 413            | 810            | 58             | 332            | 768            | 2115           | 12              | 56              | -12             | -31             | -78             | -123            | -51             | -75             | -29             |
|    | 107            | 226            | 405            | 290            | 753            | 1101           | 423            | 838            | 2605           | 271             | 677             | 1274            | 146             | 374             | 529             | 149             | 214             | 68              |
|    | 101            | 195            | 236            | -41            | 378            | 172            | -290           | -508           | -46            | -221            | -414            | -291            | -110            | -241            | -223            | -99             | -119            | -42             |

Tabelle 7. Differenzengleichung für das Dreiecknetz der 30° schiefen Platte mit vier einfach gestützten Rändern ( $Q_i = q_i \lambda_y^4 / D$ ).

|     | w <sub>1</sub> | w <sub>2</sub> | w <sub>3</sub> | w <sub>4</sub> | w <sub>5</sub> | w <sub>6</sub> | w <sub>7</sub> | w <sub>8</sub> | w <sub>9</sub> | w <sub>10</sub> | w <sub>11</sub> | w <sub>12</sub> | w <sub>13</sub> | w <sub>14</sub> | w <sub>15</sub> | =               |
|-----|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 1.  | 5,180          | -0,492         | -0,492         | 0,018          | 0,036          | 0,018          |                |                |                |                 |                 |                 |                 |                 |                 | Q <sub>1</sub>  |
| 2.  | -0,492         | 5,948          | -3,892         | -0,492         | -0,376         | 0,232          | 0,018          | 0,036          | 0,018          |                 |                 |                 |                 |                 |                 | Q <sub>2</sub>  |
| 3.  | -0,492         | -3,892         | 5,948          | 0,232          | -0,376         | -0,492         |                | 0,018          | 0,036          |                 |                 |                 |                 |                 |                 | Q <sub>3</sub>  |
| 4.  | 0,018          | -0,492         | 0,232          | 5,948          | -3,892         | 0,750          | -0,492         | -0,376         | 0,232          | 0,018           | 0,036           | 0,018           |                 |                 |                 | Q <sub>4</sub>  |
| 5.  | 0,036          | -0,376         | -0,376         | -3,892         | 6,716          | -3,892         | 0,232          | -0,376         | -0,376         |                 | 0,018           | 0,036           |                 |                 |                 | Q <sub>5</sub>  |
| 6.  | 0,018          | 0,232          | -0,492         | 0,750          | -3,892         | 5,930          |                | 0,232          | -0,492         |                 |                 | 0,018           |                 |                 |                 | Q <sub>6</sub>  |
| 7.  |                | 0,018          |                | -0,492         | 0,232          |                | 5,948          | -3,892         | 0,750          | -0,492          | -0,376          | 0,232           | 0,036           | 0,018           |                 | Q <sub>7</sub>  |
| 8.  |                | 0,036          | 0,018          | -0,376         | -0,376         | 0,232          | -3,892         | 6,716          | -3,892         | 0,232           | -0,376          | -0,376          | 0,018           | 0,036           |                 | Q <sub>8</sub>  |
| 9.  |                | 0,018          | 0,036          | 0,232          | -0,376         | -0,492         | 0,750          | -3,892         | 5,948          |                 | 0,232           | -0,492          | 0,018           | 0,018           |                 | Q <sub>9</sub>  |
| 10. |                |                |                | 0,018          |                |                | -0,492         | 0,232          |                | 5,930           | -3,892          | 0,750           | -0,492          | 0,232           | 0,018           | Q <sub>10</sub> |
| 11. |                |                |                | 0,036          | 0,018          |                | -0,376         | -0,376         | 0,232          | -3,892          | 6,716           | -3,892          | -0,376          | -0,376          | 0,036           | Q <sub>11</sub> |
| 12. |                |                |                | 0,018          | 0,036          | 0,018          | 0,232          | -0,376         | -0,492         | 0,750           | -3,892          | 5,948           | 0,232           | -0,492          | 0,018           | Q <sub>12</sub> |
| 13. |                |                |                |                |                |                | 0,036          | 0,018          |                | -0,492          | -0,376          | 0,232           | 5,948           | -3,892          | -0,492          | Q <sub>13</sub> |
| 14. |                |                |                |                |                |                | 0,018          | 0,036          | 0,018          | 0,232           | -0,376          | -0,492          | -3,892          | 5,948           | -0,492          | Q <sub>14</sub> |
| 15. |                |                |                |                |                |                |                |                |                | 0,018           | 0,036           | 0,018           | -0,492          | -0,492          | 5,180           | Q <sub>15</sub> |

Die Poissonsche Zahl ist in dieser Berechnung zu 0,167 angenommen. Die Genauigkeit der drei maschinellen Lösungen wurde geprüft, indem die gefundenen Werte in die ursprünglichen Gleichungen zurück eingesetzt wurden. Es wurde gefunden, daß die Restwerte im ungünstigsten Fall zwischen  $1,99 \times 10^{-7}$  bis etwa  $-1,58 \times 10^{-7}$  lagen. Dieses Ergebnis macht es verständlich, daß die Verwendung des Rechenautomaten die Auflösung der Differenzengleichungen sehr erleichtert hat. Deshalb soll die Methode der Differenzengleichungen bei Lösung der Probleme elastischer dünner Platten sehr viel angewandt werden.

Tabelle 8. Einflußkoeffizient für die Durchbiegung der 30° schiefen Platte mit vier einfach gestützten Rändern (Einheit 10<sup>-5</sup>) ( $Q_i = q_i \lambda_y^4 / D$ ).

|                | Q <sub>1</sub> | Q <sub>2</sub> | Q <sub>3</sub> | Q <sub>4</sub> | Q <sub>5</sub> | Q <sub>6</sub> | Q <sub>7</sub> | Q <sub>8</sub> | Q <sub>9</sub> | Q <sub>10</sub> | Q <sub>11</sub> | Q <sub>12</sub> | Q <sub>13</sub> | Q <sub>14</sub> | Q <sub>15</sub> |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| w <sub>1</sub> | 20320          | 5495           | 5493           | 1641           | 2446           | 1599           | 485            | 803            | 644            | 131             | 229             | 196             | 43              | 46              | 6               |
| w <sub>2</sub> | 5495           | 35088          | 24803          | 12055          | 16723          | 10270          | 3744           | 6058           | 4726           | 1040            | 1800            | 1523            | 341             | 364             | 46              |
| w <sub>3</sub> | 5493           | 24803          | 35058          | 10538          | 16650          | 11678          | 3447           | 5755           | 4704           | 966             | 1688            | 1449            | 319             | 341             | 43              |
| w <sub>4</sub> | 1641           | 12055          | 10538          | 42931          | 40259          | 21778          | 14870          | 21788          | 15153          | 4361            | 7311            | 5914            | 1449            | 1523            | 196             |
| w <sub>5</sub> | 2446           | 16723          | 16650          | 40259          | 64608          | 38732          | 16411          | 27051          | 21461          | 4984            | 8622            | 7311            | 1688            | 1800            | 229             |
| w <sub>6</sub> | 1599           | 10270          | 11678          | 21778          | 38732          | 40641          | 9292           | 15996          | 14317          | 2838            | 4984            | 4361            | 966             | 1040            | 131             |
| w <sub>7</sub> | 485            | 3744           | 3447           | 14870          | 16411          | 9292           | 43733          | 41867          | 23477          | 14317           | 21461           | 15153           | 4704            | 4726            | 644             |
| w <sub>8</sub> | 803            | 6058           | 5755           | 21788          | 27051          | 15996          | 41867          | 67682          | 41867          | 15996           | 27051           | 21788           | 5755            | 6058            | 803             |

Tabelle 9. Einflußkoeffizient für das Biegemoment M<sub>x</sub> (obere Werte), M<sub>y</sub> (mittlere Werte) und Drehmoment M<sub>xy</sub> (untere Werte) für die 30° schiefe Platte mit vier einfach gestützten Rändern (Einheit 10<sup>-5</sup>) ( $P_i = q_i \lambda_y^2$ ).

|    | P <sub>1</sub> | P <sub>2</sub> | P <sub>3</sub> | P <sub>4</sub> | P <sub>5</sub> | P <sub>6</sub> | P <sub>7</sub> | P <sub>8</sub> | P <sub>9</sub> | P <sub>10</sub> | P <sub>11</sub> | P <sub>12</sub> | P <sub>13</sub> | P <sub>14</sub> | P <sub>15</sub> |
|----|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 1. | 1475           | -426           | -213           | -171           | -227           | -136           | -56            | -88            | -68            | -16             | -27             | -22             | -6              | -6              | -1              |
|    | 3730           | 945            | 730            | 252            | 356            | 215            | 72             | 116            | 91             | 20              | 34              | 28              | 6               | 7               | 1               |
|    | 650            | 150            | 519            | 85             | 167            | 135            | 30             | 52             | 46             | 8               | 15              | 13              | 3               | 3               | 0               |
| 2. | -154           | 1986           | -1056          | -311           | -40            | 22             | -143           | -182           | -104           | -46             | -74             | -57             | -16             | -15             | -2              |
|    | 671            | 4256           | 1454           | 1110           | 1106           | 544            | 288            | 429            | 297            | 80              | 128             | 104             | 24              | 26              | 3               |
|    | -230           | 785            | 129            | 307            | 858            | 520            | 150            | 283            | 252            | 47              | 84              | 75              | 17              | 17              | 2               |
| 3. | 251            | 1042           | 2004           | -316           | -498           | -207           | -259           | -290           | -221           | -59             | -102            | -85             | -21             | -22             | -2              |
|    | 266            | 1467           | 4237           | 892            | 1562           | 994            | 304            | 516            | 420            | 86              | 150             | 130             | 29              | 31              | 3               |
|    | 472            | 99             | 656            | -55            | 32             | 432            | -19            | -13            | 29             | -7              | -9              | -4              | -4              | -2              | 0               |
| 4. | -44            | -192           | -67            | 2159           | 1440           | 684            | -242           | 85             | 150            | -115            | -140            | -69             | -38             | -36             | -6              |
|    | 125            | 991            | 640            | 4373           | 1743           | 609            | 1122           | 1140           | 595            | 276             | 417             | 294             | 83              | 83              | 10              |
|    | -75            | -446           | -336           | 509            | -60            | -107           | 260            | 780            | 393            | 128             | 252             | 226             | 52              | 58              | 7               |
| 5. | -11            | 206            | -5             | 1456           | 2897           | 1481           | -148           | -210           | 99             | -122            | -194            | -139            | -49             | -50             | -7              |
|    | 136            | 859            | 1067           | 1726           | 4936           | 1644           | 917            | 1553           | 1266           | 297             | 527             | 464             | 107             | 118             | 15              |
|    | 39             | 288            | 37             | -46            | 454            | -29            | -126           | -84            | 339            | -42             | -52             | -4              | -12             | -11             | -2              |
| 6. | 65             | 409            | 500            | 775            | 1610           | 2311           | -48            | -97            | -189           | -62             | -110            | -105            | -27             | -30             | -5              |
|    | 15             | 157            | 286            | 518            | 1514           | 4112           | 427            | 853            | 1054           | 150             | 276             | 264             | 54              | 59              | 8               |
|    | 102            | 409            | 667            | -186           | -145           | 478            | -345           | -594           | -579           | -139            | -242            | -216            | -52             | -55             | -7              |
| 7. | -14            | -95            | -78            | -239           | -149           | -72            | 2147           | 1416           | 683            | -216            | 108             | 161             | -49             | -21             | -8              |
|    | 30             | 241            | 203            | 1120           | 916            | 451            | 4402           | 1810           | 817            | 1080            | 1178            | 586             | 247             | 213             | 30              |
|    | -24            | -174           | -155           | -569           | -573           | -321           | 442            | -146           | -187           | 223             | 734             | 425             | 170             | 186             | 26              |
| 8. | -19            | -97            | -109           | 92             | -190           | -37            | 1414           | 2827           | 1414           | -37             | -190            | 92              | -109            | -97             | -19             |
|    | 46             | 343            | 336            | 1133           | 1636           | 886            | 1812           | 5100           | 1812           | 886             | 1636            | 1133            | 336             | 343             | 46              |
|    | -1             | 8              | -24            | 331            | -90            | -126           | -75            | 403            | -75            | -126            | -90             | 331             | -24             | 8               | -1              |

Tabelle 10.

|           |                  | 45° schiefe Platte |      |      |       |       |      | 60° schiefe Platte |       |      |       |       |       | 30° schiefe Platte |       |       |       |       |       |
|-----------|------------------|--------------------|------|------|-------|-------|------|--------------------|-------|------|-------|-------|-------|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
|           |                  | 1                  | 2    | 3    | 4     | 5     | 6    | 1                  | 2     | 3    | 4     | 5     | 6     | 1                  | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     |
| eigenlast | M <sub>x</sub>   | 1510               | 1760 | 1850 | 1850  | 2290  | 2050 | 1890               | 2040  | 2300 | 2040  | 2470  | 2260  | 826                | 1115  | 1130  | 1210  | 1630  | 1295  |
|           | M <sub>y</sub>   | 2010               | 2430 | 2100 | 2560  | 2610  | 1920 | 2250               | 2590  | 2310 | 2700  | 2860  | 2160  | 2090               | 2390  | 2380  | 2450  | 2760  | 2300  |
|           | M <sub>xy</sub>  | 262                | 196  | 277  | 117   | 176   | 167  | 304                | 140   | 234  | 40    | 41    | -160  | 364                | 440   | 368   | 286   | 255   | 269   |
| last      | M <sub>x</sub>   | -5,8               | 19,4 | 14,4 | 38,5  | 56,6  | 63,0 | 13,5               | 39,8  | 42,9 | 46,6  | 65,5  | 62,0  | 0,1                | 20,4  | 12,9  | 37,8  | 55,2  | 52,6  |
|           | M <sub>y</sub>   | 64,5               | 88,0 | 87,6 | 104,0 | 117,0 | 50,5 | 74,9               | 102,0 | 92,2 | 120,0 | 137,0 | 64,0  | 70,0               | 112,0 | 117,0 | 133,0 | 165,0 | 103,0 |
|           | M <sub>xy</sub>  | 24,5               | 35,8 | 18,4 | 29,6  | 15,7  | -8,0 | 46,0               | 34,3  | 18,7 | 16,0  | 45,3  | -34,0 | 20,0               | 34,9  | 17,4  | 17,1  | 7,9   | -9,6  |
| last      | M <sub>x</sub>   | 1504               | 1779 | 1864 | 1889  | 2347  | 2113 | 1904               | 2080  | 2343 | 2087  | 2536  | 2322  | 826                | 1135  | 1143  | 1248  | 1685  | 1348  |
|           | M <sub>y</sub>   | 2075               | 2518 | 2188 | 2664  | 2727  | 1971 | 2320               | 2692  | 2402 | 2820  | 2997  | 2224  | 2160               | 2502  | 2497  | 2583  | 2925  | 2403  |
|           | M <sub>xy</sub>  | 287                | 232  | 295  | 147   | 192   | 175  | 350                | 174   | 253  | 56    | 47    | -194  | 384                | 475   | 385   | 304   | 263   | 259   |
| last      | M <sub>max</sub> | 2110               | 2585 | 2364 | 2691  | 2774  | 2231 | 2519               | 2739  | 2645 | 2826  | 3002  | 2473  | 2263               | 2649  | 2600  | 2649  | 2980  | 2466  |
|           | M <sub>min</sub> | 1470               | 1713 | 1689 | 1863  | 2300  | 1853 | 1705               | 2033  | 2101 | 2082  | 2532  | 2073  | 723                | 989   | 1040  | 1182  | 1630  | 1286  |
|           | θ                | -23                | -16  | -40  | -11   | -23   | 38   | -42                | -15   | -42  | -5    | -6    | -34   | -15                | -18   | -15   | -12   | -12   | -13   |

Einheit der Momente Kgm m, θ = Grad

#### 4. Rechnungsbeispiel

Wir betrachten die an vier Rändern einfach gestützte, in Abb. 2—4 dargestellte Platte und berechnen das Biegemoment in einem inneren Punkt in der Nähe des spitzen und des stumpfen Winkels bei Annahme folgender Werte:

a) Eigengewicht der 17 cm starken Stahlbetonplatte  $2400 \times 0,17 = 408$   
5 cm starke Betonfahrbahnplatte  $2300 \times 0,05 = 115$

523 kg/cm<sup>2</sup>.

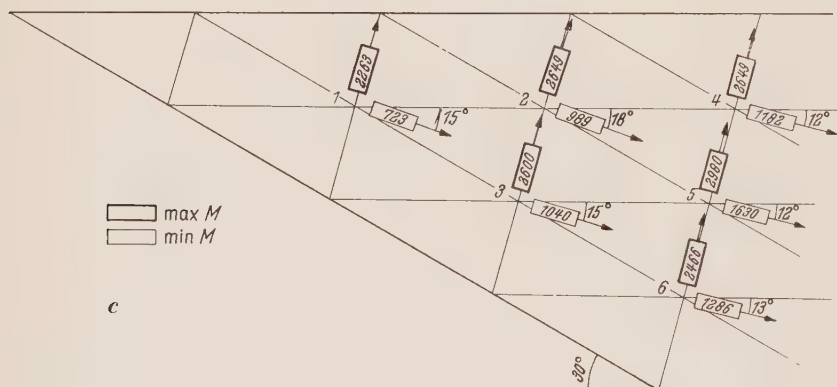
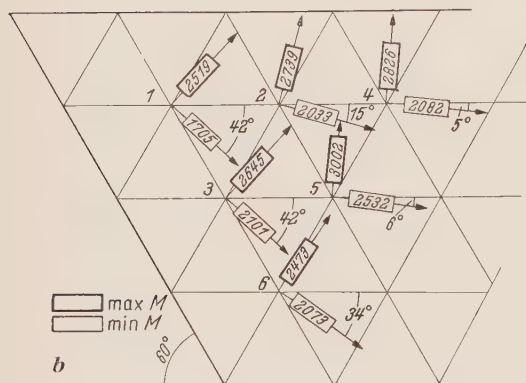
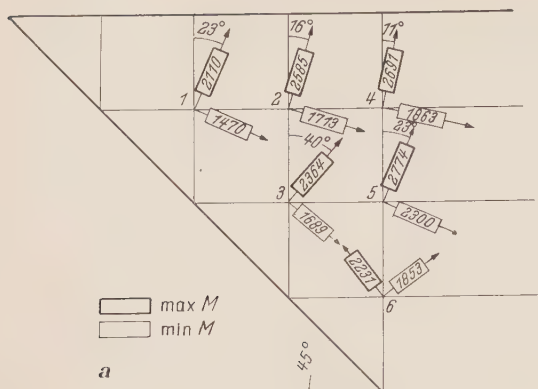


Abb. 5 a—c. Hauptmomente und ihre Richtungen.

b) Bewegliche Last: Die 8 t Radlast (lt. Vorschrift für die stählernen Straßenbrücken in Japan) mit einer Stützweite von 40 % ist über ein Rechteck oder Parallelogramm ( $\lambda_x \cdot \lambda_y$ ) verteilt angenommen. Die Intensität der verteilten Last ergibt sich für die 45° schiefe Platte  $q = \frac{11200}{45 \cdot 45} = 5,53 \text{ kg/cm}^2$ , für die 60° schiefe  $q = \frac{11200}{45 \cdot 51,43} = 4,84 \text{ kg/cm}^2$ , für die 30° schiefe  $q = \frac{11200}{45,90} = 2,77 \text{ kg/cm}^2$ .

Tab. 10 zeigt entsprechend folgende Werte:

- a) Das vom Eigengewicht herrührende Moment in verschiedenen Punkten in der Nähe des spitzen Winkels,
- b) das Moment von der Nutzlast in einzelnen Punkten in Nähe des spitzen Winkels, das durch die im Feldpunkt konzentrierte Last hervorgerufen wird,
- c) das gesamte Moment,
- d) das Hauptmoment und seine Richtungen (s. Abb. 5).

Zu dieser Tabelle ist zu bemerken, daß a) ein bedeutender Betrag des Biegemoments am spitzen Winkel vorhanden ist, b) die Richtung des Hauptmoments nicht gleichmäßig ist und sich beträchtlich entsprechend dem Feldpunkt ändert, c) daß die Hauptbewehrung nicht empirisch angeordnet werden darf.

### 5. Schlußwort

Als erstmalige Anwendung des Rechenautomaten bei Problemen der Zivilingenieure in Japan ist die Berechnung der Einflußkoeffizienten für die Durchbiegung, die

Biege- und Drillmoment von Platten mit Schiefewinkeln von 30°, 45° und 60° versucht. Die wesentliche Schwierigkeit beim Ersatz der Differentialgleichung durch ein Netz von Differenzgleichungen liegt im Auflösen vieler einzelner Gleichungen, aber diese Schwierigkeit kann durch Verwendung von Rechenautomaten behoben werden. Als Beispiel ist das Biegemoment in einem inneren Punkt in der Nähe der schiefen Seite berechnet und damit ein Beitrag zur empirischen Regel, die für die Berechnung schiefer Platten benutzt wird, geliefert worden.

## Modellversuche mit elastisch gelagerten schiefen Platten

Von H. Daniel und W. Richter, Bad Godesberg

DK 624.21.094 : 621-272.6 : 624.073.111.001.57

Der Anwendung von Gummilagern im Straßenbrückenbau kommt z. Z. größere Beachtung zu. Gummilager sind vermöge ihres elastischen Verhaltens in der Lage, horizontale Bewegungen des Überbaues in zwei Richtungen aufzunehmen. Sie bieten dadurch die Möglichkeit, Stahllager bzw. Pendel durch einfachere Lager mit geringerer Bauhöhe zu ersetzen. Hierbei ist von Interesse, welchen grundsätzlichen Einfluß die elastische Lagerung auf das Tragverhalten des Überbaues hat. Aus diesem Grunde beauftragte das BVM Herrn Dr.-Ing. Homberg, Modellversuche an einer elastisch gelagerten schiefwinkligen Platte  $L : b = 1 : 1$  und  $\varphi = 40^\circ$  durchzuführen.

Nachstehend werden die Ergebnisse zusammengefaßt mitgeteilt.

### 1. Modellgesetz

Zwischen Modell und Wirklichkeit muß statische Ähnlichkeit bestehen. Für die Aufstellung eines solchen

Modellgesetzes wurde die Vereinfachung getroffen, das Kontinuum der Platte durch das Diskontinuum eines Kreuzwerkes mit  $n$  Hauptträgern im Abstand von  $a = (l \text{ ist die Stützweite})$  ersetzt wird. Demzufolge wird kontinuierliche Gummilagerung durch  $n$  Einzelfedern, Gummi ersetzt gedacht. Für die Ermittlung der Quersteifigkeit der Platte im Auflagerbereich wurde angenommen, daß die mitwirkende Breite eines gedachten Einquerträgers  $\frac{l}{5}$  beträgt. Das Modellgesetz nimmt dann Form an:

$$\sim - 10^3 \frac{E d^3}{l^3 K}$$

Hierin bedeuten:

$E$  Elastizitätsmodul des Baustoffes  
 $l$  Stützweite  
 $d$  Dicke  
 $K$  Bettungsziffer  
 } der Platte

## 2. Versuchsdurchführung und Ergebnisse

Die Modellversuche wurden mit einer Bettungsziffer  $\beta = 18 \text{ kg/cm}^2$  und einem  $z = 33$  durchgeführt.

In den Abb. 1 und 2 sind die Ergebnisse aus Vollast (Eigenlast) dargestellt. Abb. 1 zeigt die Hauptmomente

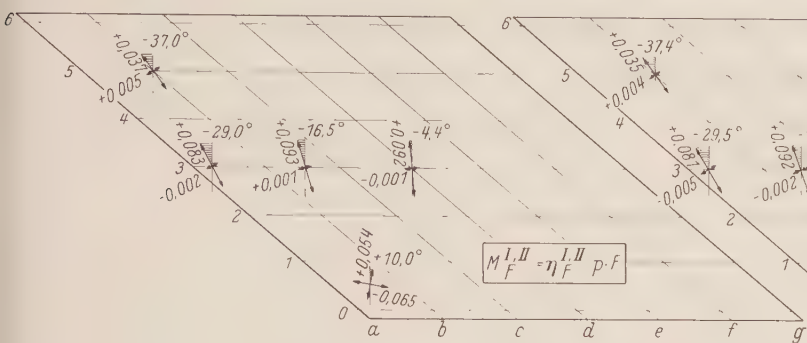


Abb. 1. Hauptmomente aus Vollast (Eigenlast) bei starrer Lagerung.

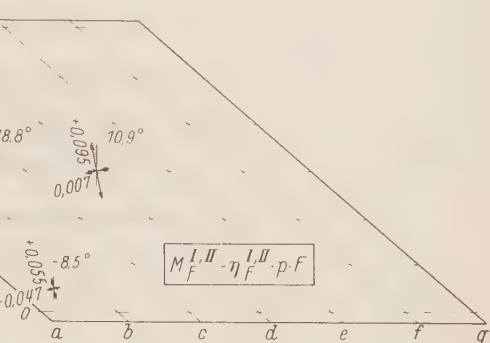


Abb. 2. Hauptmomente aus Vollast (Eigenlast) bei elastischer Lagerung.

bei starrer Lagerung, Abb. 2 bei elastischer Lagerung der Platte.

Aus dem Vergleich der Momente in den Abb. 1 und 2 ergibt sich als wesentlichste Erkenntnis:

a) Die Richtung der Hauptmomente bei der elastischen Lagerung ist gegenüber derjenigen bei starrer Lagerung verdreht, und zwar in Richtung der Brückenschiefe.

b) Das Hauptmoment  $M_I$  in Plattenmitte (Punkt 3 d) nimmt bei elastischer Lagerung der Platte einen höheren Wert an als bei starrer Lagerung.

c) Das negative Quermoment  $M_{II}$  in der stumpfen Ecke nimmt bei elastischer Lagerung gegenüber demjenigen bei starrer Lagerung wesentlich ab.

In den Abb. 3 und 4 sind die Hauptmomente aus der Belastung durch Einzellasten in den Rasterpunkten im Bereich des jeweiligen Aufpunktes (Verkehrslast SLW)

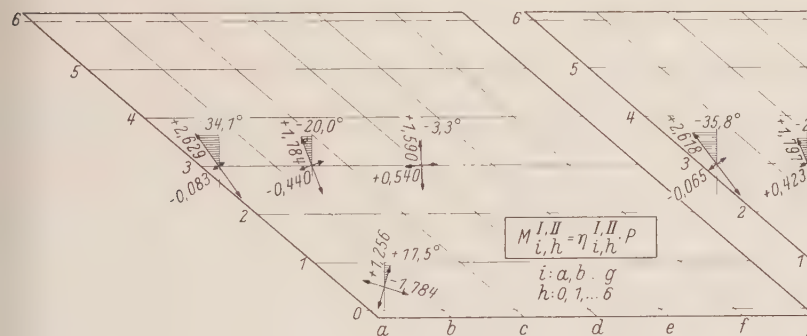


Abb. 3. Hauptmomente aus Einzellasten (Verkehrslast) bei starrer Lagerung.

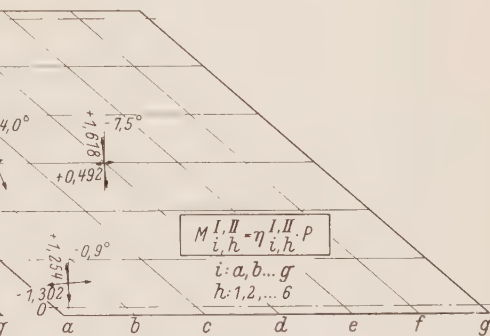
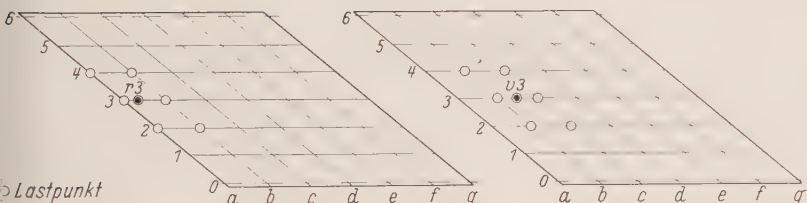


Abb. 4. Hauptmomente aus Einzellasten (Verkehrslast) bei elastischer Lagerung.



• Lastpunkt  
• Aufpunkt

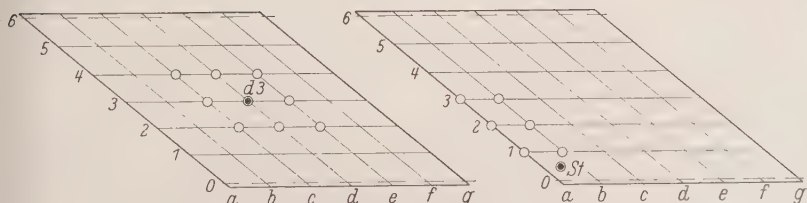


Abb. 5. Laststellungen im Bereich des jeweiligen Aufpunktes.

Daraus geht hervor, daß bei solchen Brücken Lagerungsverhältnisse auftreten, die sich dem Zustand einer starren Lagerung nähern. Für diese Verhältnisse ergeben sich Hauptmomente, deren Richtung und Größe den in den Abb. 1 und 3 enthaltenen Werten für starre Lagerung nahekommen. Wie die Versuche zeigen, sind die Abweichungen von den Werten für starre Lagerung sehr gering, so daß sie im allgemeinen vernachlässigt werden können.

## Literatur

1. G. Franz: Gummilager für Brücken. VDI-Z. 101 (1959) Nr. 12 vom 21. April.

## Kurze Technische Berichte

## Strahlungsschutztechnik

## Entwurf von Behältern für die Speicherung flüssiger hochaktiver Abfallprodukte

DK 621.039 : 624.953 : 621.6.03 : 539.168/.169

Probleme der Wärmeentwicklung bei der Behälter-  
speicherung hochgradig radioaktiver Flüssigkeiten

Der sich bei Neutroneneinfang von Uran oder Plutonium bildende Zwischenkern kann auf mehr als 40 verschiedene Arten spalten, so daß über 80 verschiedene primäre Spaltprodukte (Spaltstücke) entstehen. In Abb. 1 ist der Spaltproduktertrag von  $U^{235}$  und  $Pu^{239}$  als Funktion der Massenzahl aufgetragen; da bei jedem Spaltprozeß zwei Kerne entstehen, addiert sich

Abb. 1. Spaltproduktertrag von  $U^{235}$  und  $Pu^{239}$  als Funktion der Massenzahl.

der Gesamtertrag für alle Massenzahlen zu 200 %. Nahezu sämtliche Spaltstücke sind radioaktiv und zerfallen unter Emission von negativen  $\beta$ -Teilchen; ein großer Teil emittiert zusätzlich  $\gamma$ -Strahlen. Die Energie der beim Zerfallsprozeß emittierten  $\beta$ - und  $\gamma$ -Strahlen wird bei der Absorption der Strahlung in Wärme umgewandelt, so daß die radioaktiven Abfälle aus dem Trennprozeß sich selbst erhitzen. Es ist daher notwendig, diese Abfälle unter Bedingungen zu speichern, die dem Erreichen von Temperaturen vorbeugen, welche sich auf die Speicherungsanlagen schädigend auswirken können.

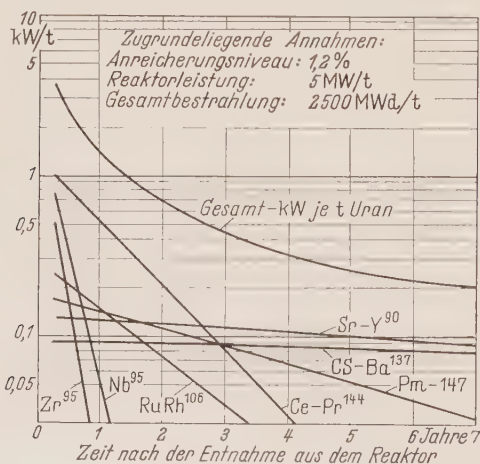


Abb. 2. Wärmeentwicklung zerfallender Spaltprodukte.

Abb. 2 zeigt die Wärmeentwicklung zerfallender Spaltprodukte als Funktion der Zeit nach der Entnahme des bestrahlten Spaltstoffes aus dem Kernreaktor. Das Diagramm gründet sich auf die Annahme, daß 1 t Uran mit 1,2 Gew.-%  $U^{235}$  bei einer Reaktorleistung von 5 MW/t eine Gesamtbestrahlung von

2500 MWd/t erhalten hat. Zuerst wird der größte Teil der Wärme von kurzlebigen Spaltprodukten erzeugt, später von langlebigeren; nach fünf Jahren beruht fast die gesamte Wärmeentwicklung auf dem Zerfall von  $Cs^{137}$  (HWZ: 37 Jahre) und  $Sr^{90}$  (HWZ: 19,9 Jahre). Kurven für andere Bedingungen der Spaltstoffelement-Zusammensetzung und Reaktorbestrahlung sind der dargestellten Kurve für die genannten spezifischen Bedingungen ähnlich, so daß die bei der Beseitigung radioaktiver Abfallstoffe auftretenden Wärmeentwicklungsprobleme qualitativ unabhängig von den jeweiligen Gegebenheiten der Zusammensetzung und der Reaktorbestrahlung sind.

In Abb. 3 ist die Wärmeentwicklung in einem Speicherbehälter dargestellt, der radioaktive Abfälle von einer Trennanlage

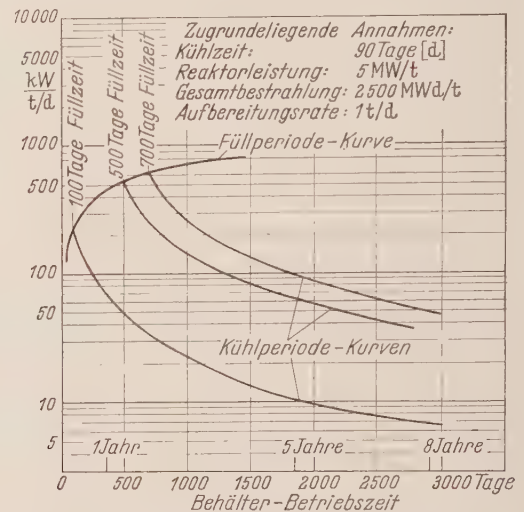


Abb. 3. Wärmeentwicklung in Speicherbehältern für Abfälle aus dem radiochemischen Trennprozeß.

hält, die die in Abb. 2 spezifizierten bestrahlten Spaltstoffelemente mit einer Leistung von 1 t je Tag aufbereitet, wobei die Abfallflüssigkeit dem Speicherbehälter 90 Tage nach der Entnahme der Spaltstoffelemente aus dem Reaktor zugeführt wird. Der Betrieb eines Speicherbehälters wird in zwei Zeitebenen eingeteilt:

Die Füllperiode ist die Zeit, während der der Behälter gefüllt wird, darauf beginnt die „Kühl“periode. Während der Füllperiode rührt der größere Teil der erzeugten Wärme von den kurzlebigen Spaltprodukten her. Der Wärmeleistungszuwachs im Behälter steigt anfänglich schnell, er ist ungefähr proportional der Menge der dem Behälter zugeführten kurzlebigen Spaltprodukte. Nach einigen Monaten sind jedoch die dem Behälter zuerst zugeführten kurzlebigen Spaltprodukte weitgehend zerfallen, so daß der kumulative Wärmezuwachs sich laufend vermindert. Die Kühlperiode-Kurven stellen die Wärmeleistung der Abfallflüssigkeit nach Beendigung der Füllung dar, die über einen bestimmten Zeitraum kontinuierlich stattgefunden hat. Ein innerhalb eines kurzen Zeitabschnitts gefüllter Behälter enthält einen verhältnismäßig hohen Anteil kurzlebiger Spaltprodukte, und die Wärmeleistung der Abfallflüssigkeit fällt daher anfänglich rasch ab. Ein über einen längeren Zeitraum gefüllter Behälter enthält einen höheren Anteil langlebiger Spaltprodukte, was in einer langsamer abfallenden Wärmeleistung resultiert.

Wenn die Wärmeentwicklung im Behälter die Wärmeabfuhr in das umgebende Erdreich übersteigt, tritt Verdampfung der Abfalllösung ein. Durch Kondensation des Dampfes und Abführung des nur schwach radioaktiven Kondensats läßt sich eine Selbstkonzentration der Abfälle erzielen. Abb. 4 zeigt ein Schema eines von den Hanford-Werken in Richland, Washington, verwendeten Speichersystem-Typs. Der unterirdische Speicherbehälter besteht aus einer zylindrischen Betonkonstruktion mit Stahlblechauskleidung. Die entstehenden Dämpfe werden durch einen Abscheider geleitet, der hier als Zyklon-Separator (Wirbler) angegeben ist, und darauf in einem unterirdischen Kondensator wieder verflüssigt. Das Kondensat wird durch ein unterirdisches Sickerbecken in den Boden eingeleitet.

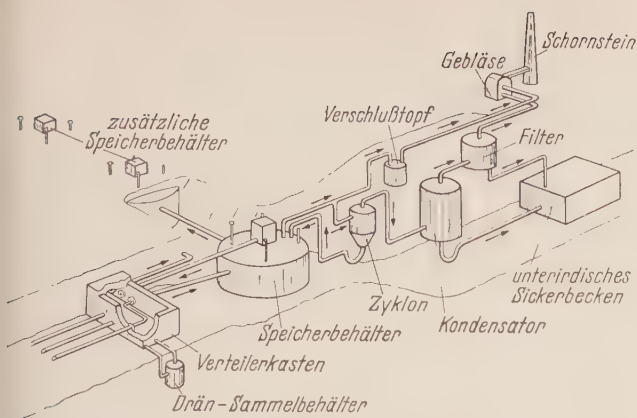


Abb. 4. Schematische Ansicht einer Speicheranlage für hochgradig radioaktive Abfallflüssigkeiten.

Das System wird über Filter und Schornstein gelüftet. Mehrere Speicherbehälter sind an einen Kondensator und einen Schornstein angeschlossen.

Bei geringerer Füllhöhe siedet die Flüssigkeit stetig. Bei größerer Füllhöhe, z. B. 6 m oder mehr, können periodisch Ausbrüche einer um das 50- bis 100-fache über dem Durchschnittswert liegenden Verdampfung erfolgen. Dieses Eruptionsphänomen resultiert aus einer plötzlichen Freisetzung einer in den unteren Flüssigkeitsschichten labil gespeicherten Wärmemenge, wo der Siedepunkt der Abfalllösung durch die hydrostatische Auflast heraufgesetzt ist. Diese rapide Form der Energiefreisetzung kann durch jeden Vorgang ausgelöst werden, der eine örtliche aufwärts gerichtete Strömung hervorruft, z. B. Hebung der Schlammschicht durch eine in ihr stattfindende Verdampfung, Einführung eines Gegenstandes in den Behälter, oder andere Umstände. Diese Aufwärtsbewegung reduziert den Druck auf die unteren Flüssigkeitsschichten und führt zu einer eruptionsartigen Verdampfung. Der so gebildete Dampf reduziert weiterhin den Druck am Boden dieser örtlichen Säule aufsteigender Flüssigkeit, was das Sieden noch beschleunigt. Das rapide Sieden setzt sich fort, bis der Vorrat an labiler Überschußwärme hinreichend aufgezehrt ist, so daß die örtliche Aufwärtsströmung der Flüssigkeit aufhört. Die obere Grenze des Dampfdruckes in einem Speicherbehälter für hochgradig radioaktive Flüssigkeiten ist gleich dem hydrostatischen Druck der Abfalllösung am Behälterboden bei dem höchsten Füllungsstand; denn wenn im ungünstigsten vorstellbaren Fall eine Flüssigkeitsschicht am Behälterboden bei dem dort herrschenden hydrostatischen Druck bis auf den Siedepunkt erhitzt und darauf plötzlich nach oben gebracht wird, ist der maximal mögliche Dampfdruck gleich dem hydrostatischen Druck, der vor dem Aufwärtstransport auf diese Flüssigkeitsschicht gewirkt hat. In derartigen Speicherbehältern tatsächlich gemessene maximale Dampfdruckwerte lagen jedoch stets beträchtlich unter dem durch vorstehende Überlegung definierten oberen Grenzwert. Die bei dem Eruptionsphänomen wirksamen Faktoren und ihre Beziehungen zueinander sind derzeit noch nicht genügend erforscht, aber es hat sich gezeigt, daß die Eruptionsgefahr durch eine geringe kontinuierliche Umwälzung der gespeicherten Abfalllösung unterbunden werden kann.

Bei Zugrundelegung der für Abb. 3 definierten Betriebsbedingungen und einer typischen Abfalllösung aus dem sog. Ureux-Prozeß mit einem Volumen von  $0,5 \text{ m}^3$  je t aufbereiteten Urans ergibt sich für einen Behälter von  $2000 \text{ m}^3$  Fassungsvermögen eine Füllzeit von 4000 Tagen und ein Sieden der Flüssigkeit über einen Zeitraum von etwa 50 Jahren. Für einen Behälter von  $4000 \text{ m}^3$  Fassungsvermögen mit einer Füllzeit von 8000 Tagen würde die Abfalllösung etwa 70 Jahre lang sieden, wenn die Wärmeverluste je  $\text{m}^2$  Oberfläche die gleichen sind wie im vorigen Falle.

Es ist natürlich möglich, Speicheranlagen so zu entwerfen und zu betreiben, daß Sieden der Abfallflüssigkeit verhindert wird. Das kann auf folgende Weise geschehen:

1. Die Einleitung von Abfalllösung in einen Behälter erfolgt so langsam, daß die Wärmeabfuhrung in das umgebende Erdreich bei einer unter dem Siedepunkt liegenden Temperatur. Dieses Verfahren erfordert eine große Anzahl Speicherbehälter, die ausschließlich kleine Mengen frischer Abfalllösung erhalten.

2. Der Speicherbehälter-Entwurf wird mit sehr großem Oberfläche : Volumen-Verhältnis aufgestellt, indem eine große

Anzahl kleiner Behälter oder flache Behälter großen Durchmessers gebaut werden.

3. Der Speicherbehälter wird mit hinreichend großer Wärmeaustauschoberfläche versehen, um die erzeugte Wärme mittels Kühlwasser abführen zu können. Die Verwendung von Kühlschlangen birgt die Gefahr der radioaktiven Vergiftung des Kühlwassers im Falle eines Rohrbruchs in sich, und es sind daher Vorkehrungen für eine gefahrlose Beseitigung des vergifteten Kühlwassers zu treffen. Der Speicherbehälter ist für den maximalen Dampfdruck zu bemessen, der sich im Falle eines Versagens des Kühlsystems ausbilden kann. — Ein derartiger Entwurf erhöht die Kosten der Behälterspeicherung, nicht nur durch Erhöhung der Kapitalinvestition, sondern auch durch Speicherung der Abfalllösung zu einem größeren Volumen je t bestrahlten Spaltstoffes, als unter Ausnutzung der Selbstkonzentration erreichbar wäre.

4. Eine weitere Alternative besteht darin, eine größere Anzahl großer Behälter zu bauen, und sie mit so stark verdünnter Abfalllösung zu füllen, daß die erzeugte Wärme in den Boden abgeführt wird.

Jede dieser Alternativen resultiert in höheren Kosten der Behälterspeicherung je Einheitsmenge aufbereiteter Spaltstoffes, und die Berechtigung ihrer Verwendung ist gegen wirtschaftliche Einwände offen, vorausgesetzt, daß die Erfahrung zeigt, daß nach dem Prinzip der Selbst-Konzentrierung arbeitende Speichersysteme eine adäquate Sicherheit gewährleisten.

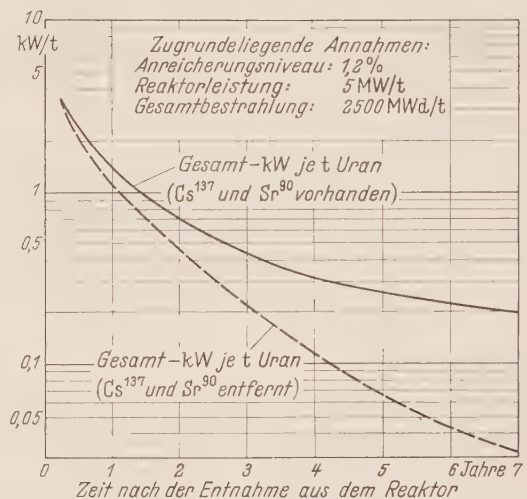


Abb. 5. Einfluß der Abtrennung von  $\text{Cs}^{137}$  und  $\text{Sr}^{90}$  auf die Wärmeabfuhr.

Die Tatsache, daß nach einer 5-jährigen Speicherung des Spaltproduktgemisches fast die gesamte erzeugte Wärme aus dem Zerfall von  $\text{Cs}^{137}$  und  $\text{Sr}^{90}$  herrührt, legt es nahe, diese zwei Elemente durch chemische Verfahren von dem Spaltproduktgemisch abzutrennen. In Abb. 5 sind Wärmeabfuhrkurven für Spaltprodukte äquivalent 1 t Uran unter den angenommenen Reaktor-Betriebsbedingungen für das gesamte Spaltproduktgemisch und für den Fall der Herausnahme von Cs und Sr aus den Abfällen angegeben. Die Abtrennung dieser zwei Radioisotope ist zunächst nur von geringem Einfluß auf die Wärmeabfuhr, der Einfluß wird jedoch nach einigen Jahren sehr bedeutend. Abb. 6 zeigt den Einfluß der Abtrennung von Cs und Sr auf die Wärmeabfuhr der Abfallflüssigkeit in einem Speicherbehälter unter den bereits definierten Betriebsbedingungen. Das Maximum der Wärmeabfuhr bleibt von der Entfernung der beiden langlebigen Radioisotope im wesentlichen unberührt, aber die Zeitdauer des Siedens der gespeicherten Flüssigkeit reduziert sich auf 2 bis 5 Jahre nach Beendigung der Füllperiode. Der Nutzeffekt dieser Änderung besteht in der Reduzierung der Anforderungen an die Behälterkonstruktion und der Erzielung einer erheblichen Verkürzung der Zeitspanne, während der ein Speichersystem eine genaue Betriebswartung erfordert. Das verhältnismäßig kleine Volumen der abgetrennten langlebigen Spaltprodukte rechtfertigt die Verwendung kostspieligerer Ausrüstung für die Speicherung bzw. die Verwendung kostspieliger Verfahren für die permanente Beseitigung dieser Stoffe.

Ferner ist darauf hinzuweisen, daß es sich bei  $\text{Cs}^{137}$  und  $\text{Sr}^{90}$  um zwei Spaltprodukte handelt, die möglicherweise in großem Maßstabe industriell genutzt werden können —  $\text{Cs}^{137}$  als  $\gamma$ -Quelle und  $\text{Sr}^{90}$  als reine  $\beta$ -Quelle —, so daß diese

Isotope erst zur Beseitigung gelangen werden, wenn ihre spezifische Aktivität zu gering für technische Verwendungszwecke geworden ist. Der industrielle Nutzwert dieser aus den Abfällen gewonnenen Stoffe könnte also erstens für die Kosten des Abtrennprozesses selbst aufkommen und ferner die Kosten der Abfallbeseitigung weitgehend tragen helfen, vorausgesetzt, daß sich weit über das gegenwärtige Maß hinausgehende industrielle Verwendungsmöglichkeiten finden lassen. —

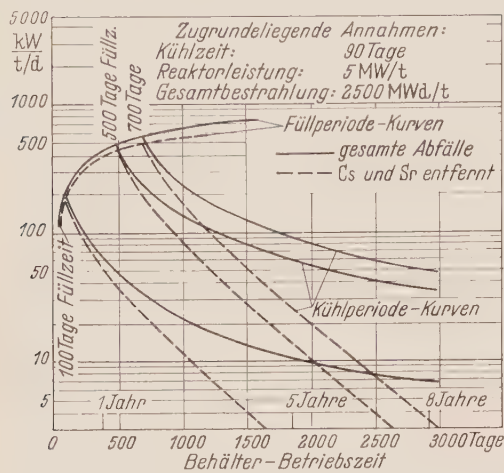


Abb. 6. Einfluß der Abtrennung von Cs<sup>137</sup> und Sr<sup>90</sup> auf die Wärmezeugung in Speicherbehältern.

[Nach E. A. Coppinger und R. E. Tomlinson: Heat Problems in the Disposal of High Level Radioactive Wastes. In: Sanitary Engineering Aspects of the Atomic Energy Industry. A Seminar Sponsored by the AEC and the Public Health Service, Held at the Robert A. Taft Engineering Center, Cincinnati, Ohio, Dec. 6—9, 1955. Report TID — 7517 (Part I b), Oct. 1956, S. 475—492].

Dipl.-Ing. Thomas Jaeger, Berlin.

DK 621.039 : 628.54 : 553

**Permanente Unterbringung hochgradig radioaktiver Abfallflüssigkeiten in Salzlagertstätten und tiefegelegenen durchlässigen Sedimenten**

Gegenwärtig befindet sich das Problem der permanenten, sicheren Unterbringung hochgradig radioaktiver Abfallstoffe noch weitgehend im Stadium der Spekulation. Zahlreiche verschiedenartige Methoden für die endgültige Unterbringung des „Atom-Mülls“ sind vorgeschlagen worden; ihre Entwicklung kann aber nicht unabhängig von den fortschreitenden Entwicklungen des Reaktorentwurfes und den entsprechenden Änderungen der Aufbereitung verbrauchten Spaltstoffes vorangetrieben werden, da diese die Eigenschaften der Abfallstoffe bestimmen. Untersuchungen über die Möglichkeiten einer Vorbehandlung der hochgradig radioaktiven Abfallflüssigkeiten aus dem Trennprozeß mit dem Ziel, die Aufgabe ihrer permanenten, sicheren Unterbringung zu erleichtern, befinden sich noch ganz in den Anfängen. Die Notwendigkeit und Art einer Vorbehandlung der Abfallflüssigkeit wird von der potentiellen Gefährlichkeit der jeweiligen vorgesehenen Unterbringungsmethode bestimmt.

Zwei der attraktivsten Möglichkeiten für die endgültige Unterbringung hochgradig radioaktiver Abfallflüssigkeiten sind Speicherung in Kavernen in Steinsalz-Lagerstätten und Einleiten in tiefegelegene durchlässige Sedimente. Potentielle Gefährlichkeit, Grenzen und ingenieurtechnische Probleme dieser beiden Methoden sind Gegenstand eines Forschungs- und Entwicklungsprogrammes der U.S. Atomic Energy Commission, das im Oak Ridge National Laboratory durchgeführt wird.

Steinsalz besteht aus 95 bis 99 % NaCl, es schmilzt bei 800° C, seine Wasserlöslichkeit beträgt etwa 38 g in 100 cm<sup>3</sup> Wasser. Die Druckfestigkeit liegt zwischen 200 und 300 kg/cm<sup>2</sup>. Plastisches Fließen des Salzes

unter statischer Belastung schließt Risse und macht eine Salzformation wasserundurchlässig. Die Schaffung von Kavernen in Steinsalz-Lagerstätten kann durch bergmännischen Abbau oder durch Lösung des Salzes an Ort und Stelle und Herauspumpen der Salzlösung erfolgen.

Lösung des Steinsalzes in Abfallflüssigkeiten und zur Gasbildung führende chemische Wechselwirkungen bilden Gefahren für die strukturelle Integrität einer Abfallspeicherkaverne. Der Lösung der Kavernenwände kann durch Sättigung der Abfallflüssigkeit mit Salzlösung vor dem Einleiten in die Kaverne begegnet werden oder durch Berücksichtigung der zusätzlichen Lösung von Wänden, Boden und Decke beim Entwurf der Kaverne. Die Gasbildung kann durch vorherige Neutralisierung der Abfallflüssigkeit unterbunden werden.

Die schwerste Gefahr für die Integrität einer Kaverne besteht in der Wärmeerzeugung in den Abfällen durch den radioaktiven Zerfall der enthaltenen Spaltprodukte, die den Wärmeverlust durch Wärmeableitung wesentlich übersteigen kann und dann zu erhöhten Temperaturen und Drücken führt. Wenn die Kaverne auf Atmosphärendruck gehalten werden soll, ist Korvektionskühlung in Verbindung mit einem hochwirksamen Filtersystem erforderlich. Wenn die Kaverne als geschlossenes Drucksystem unterhalten werden soll, muß sie so entworfen sein, daß die Temperatur allein durch Wärmeableitung in den zulässigen Grenzen gehalten wird. Fortgesetztes Sieden der Abfallflüssigkeit kann zu einem Aufwärtswandern einer geschlossenen Kaverne durch eine Salzformation führen. Wasserdampf kondensiert an den Wänden und der Decke der Kaverne, löst das Salz und tropft in die Flüssigkeit zurück; gleichzeitig kristallisiert am Boden der Kaverne in der Flüssigkeit gelöstes Salz aus.

Eine für die Durchführung eines Großversuches über die Speicherung von hochaktiven Abfallflüssigkeiten in Kavernen in Steinsalz-Lagerstätten entworfene Anlage ist in Abb. 1 schematisch dargestellt. Die flüssigen Abfälle werden nach Vorbehandlung durch (gegen Schacht und Betriebskorridor abgeschirmte) Rohrleitungen in die durch Salzabbau geschaffenen Kavernen eingeleitet. Der Flüssigkeitsspiegel in den Kavernen muß zu einem bestimmten Maß unterhalb des Korridorbodens gehalten werden. — Diese Konzipierung einer Anlage für die permanente Unterbringung hochaktiver Abfallflüssigkeiten geht von dem Gedanken einer Benützung aufgegebener Salzbergwerke aus. Technisch befriedigender dürften durch Lösung geschaffene Kavernen sein, die, bis zum Abklingen der Wärmeerzeugung der Abfallflüssigkeit auf ein zulässiges Maß, an ein geschlossenes Wärmeabführungssystem mit Rückflußkondensator angeschlossen bleiben.

Die kritischen Faktoren einer Einleitung hochaktiver Abfallflüssigkeiten in tiefegelegene durchlässige Sedimente sind: 1. Fähigkeit der Sedimentformation für Fortleitung und Speicherung von Flüssigkeiten. Geeignet sind tiefliegende ausgedehnte beckenförmige durchlässige und homogene Sedimente mit hydrologischen Verhältnissen, die die Gefahr einer radioaktiven Verunreinigung nutzbarer Grundwassers ausschließen. 2. Chemische Verträglichkeit zwischen Abfallflüssigkeit und Mineralien der Sedimentformation. Chemische Wechselwirkungen können zu Fällungen führen, die die Durchlässigkeit der Sedimentformation herabsetzen und Verstopfungen verursachen. 3. Wärmeerzeugung

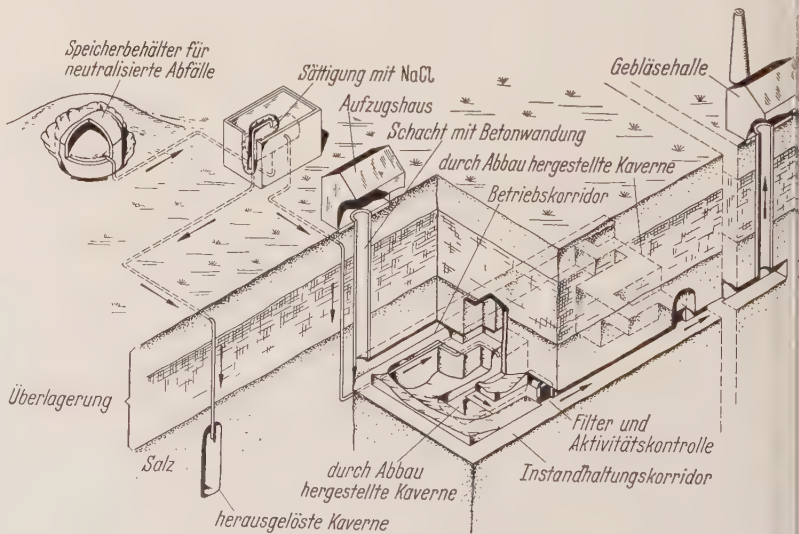


Abb. 1. Schema einer Versuchsanlage für die endgültige Unterbringung hochgradig radioaktiver Abfallflüssigkeiten in Salzformationen.

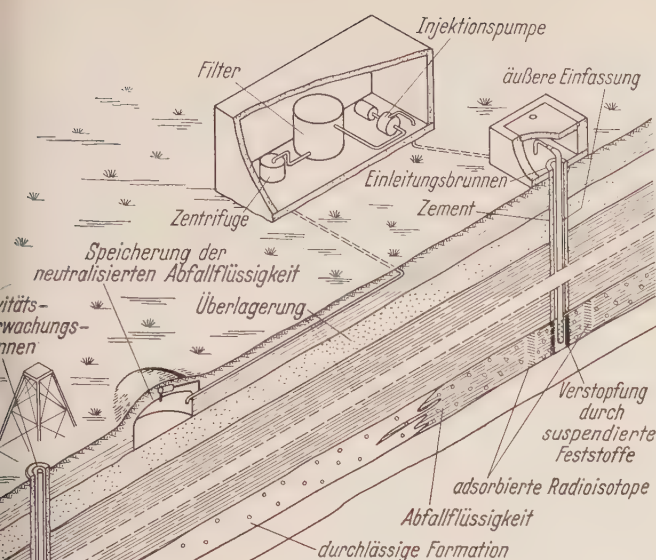


Abb. 2. Schema einer Anlage für die Einleitung hochgradig radioaktiver Abfallflüssigkeiten in tiefegelegene durchlässige Sedimente.

kapazität der Abfallflüssigkeit und Wärmeabführungseigenschaften der durchlässigen Sedimentformationen und der angrenzenden Schichten. Unter der Voraussetzung, daß keine Wärme in die an eine 30 m mächtige Sedimentformation angrenzenden Schichten abgeführt wird, und unter Zugrundelegung von in den 10 % Porenraum dieser Formation gleichförmig verteilter sechs Jahre alter typischer hochaktiver Abfalllösung aus dem radiochemischen Trennprozeß ergibt sich eine theoretische Temperaturerhöhung um etwa 1500° C am Ende eines Zeitraumes von 30 Jahren. Die Gefahr einer Geysir-Bildung ist offenbar. Der Temperaturanstieg (unter sonst gleichen Voraussetzungen) kann bei Verdünnung der Abfalllösung mit 27 Teilen Wasser auf 40° C begrenzt werden.

Abb. 2 zeigt das Schema einer Anlage für die Einleitung hochaktiver Abfallflüssigkeiten in tiefegelegene durchlässige Formationen, die aus folgenden Teilen besteht: 1. Abgeschirmter Speicherbehälter für neutralisierte Abfallflüssigkeit und Vorbehandlungsanlage zur Entfernung suspendierter Teilchen; 2. Einleitungsbrunnen mit dichter Wandung; 3. tiefegelegene Sedimentformation; 4. Aktivitätsüberwachungsbrunnen, deren Anzahl und Verteilung in Abhängigkeit von den geologischen und hydrologischen Bedingungen bestimmt wird. Eine Aktivitätsüberwachung der Umgebung der Einleitungsstelle ist im Falle von über 1000 m tief liegenden, von Schiefer- und Salzformationen überlagerten Sedimenten möglicherweise nicht erforderlich. — [Nach E. G. Struxness und J. O. Blomeke: Multipurpose Processing and Ultimate Disposal of Radioactive Wastes. Second United Nations International Conference on the Peaceful Uses of Atomic Energy, Genf, 1. bis 13. September 1958, Paper No. A/CONF. 15/P/1073, 23 Seiten.]

Dipl.-Ing. Th. Jaeger, Berlin.

DK 69.058.2 : 620.172.222 (047.6)

## Messung

### örtlicher Dehnungen unter statischer Last

Ein interessantes Dehnungsmeßverfahren, das besonders für Messung bleibender und langzeitiger Dehnungsänderungen, wie Einbauspännungen, Kriechdehnungen, Dehnungen während längerer Schwingungsbeanspruchungen, geeignet ist, ist vom Royal Aircraft Establishment in Farnborough (England) neuerdings entwickelt worden. Hierbei wird auf die polierte Oberfläche des Baukörpers ein Raster sehr schmaler Riefen von 0,0025 bis 0,005 mm Tiefe mit Saphirnadeln eingeritzt. Weiter wird eine pilzförmig ausgebildete Matrizze (s. Abb. 1) mit einer Auflage von Wood-Metall, einer leicht schmelzbaren Metalllegierung, in einer Federpistole auf 53° C vorgewärmt und dann durch Auflösen der Feder auf den geritzten Teil aufgedrückt. Das Woodmetall, in diesem Fall mit 14 % Indium, hat einen Erstarrungspunkt von 50° C, einen Schmelzpunkt von 0° C, ist also bei 53° C plastisch, drückt sich in die Riefen ein und bewahrt die Eindrücke, wenn es, nach etwa 30 Sekunden abgekühlt, wieder abgenommen wird. Die Auflage kann dann von der Matrizze leicht abgenommen und durch Vergleich mit anderen in anderen Belastungs- oder Bauzuständen aufgenommenen Rastern unter einem geeigneten Mikroskop ausgewertet werden. Die Genauigkeit des Abdruckes

liegt innerhalb 1 Mikron ( $1 \cdot 10^{-6}$  mm). Es können damit ohne Anbringung von Meßgeräten Dehnungen auch in kleinen Bereichen, z. B. an Spannungsspitzen, rasch und mit Wieder-

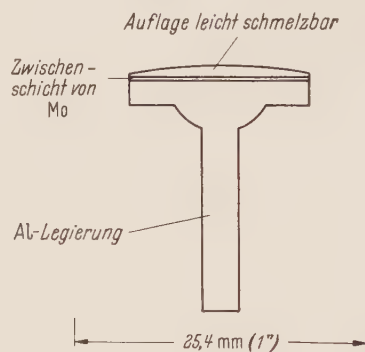


Abb. 1.

holung gemessen werden. — [Nach Measuring Local Strain under Static Load, Engng. 185 (1958). Nr. 4813, S. 726/7].

Prof. Dr.-Ing. K. Rühl, Berlin.

## Buchbesprechungen und Neuerscheinungen

DK 624.2/.9.04/.07 (022) = 2 = 3 = 4

**Abhandlungen der Internationalen Vereinigung für Brückenbau und Hochbau**, 18. Band (1958), herausgegeben vom Generalsekretariat in Zürich. VIII u. 296 S., Gr. 17 × 24 cm, mit 25 Abb. Zürich: Leemann, 1959. Brosch. 40,— SFr.

Aus dem Inhalt: Eine Methode zur Berechnung der Deformationen ebener Fachwerke — Allgemeine Instabilität einöckiger Rahmentragwerke — Der Einfluß der Eigenspannungen auf die Tragfähigkeit von außermittig belasteten Stäben — Berechnung von Sektorplatten — Berechnung von Spanneteilen nach der Verformungstheorie — Stabilität von offenen Fachwerkbrücken — Stabilität zylindrischer Schalen mit Verstärkungsrippen unter seitlicher Belastung — Modelluntersuchung einer Durchlaufträgerbrücke mit Stahlfahrrahn — Zyklische Belastungen von Portalrahmen, Theorie und Versuche — Berechnung von dünnen und flachen elastischen Segmenten — Biegungsbeulung der im oberen Fünftel versteiften Stegbleche — Kurzer Bericht über die alten und neuen Bauten in der Türkei — Aerodynamische Untersuchung des französischen Pavillons der Brüsseler Weltausstellung.

Der 18. Band der „Abhandlungen“ enthält 13 Arbeiten, wovon eine in deutscher, 3 in französischer und 9 in englischer Sprache abgefaßt sind. Jeder Aufsatz wird durch eine dreisprachige Zusammenfassung abgeschlossen. Obwohl ein großer Teil der Arbeiten an das theoretische Wissen des Lesers hohe Ansprüche stellt, sind die vielfach in umfangreichem Tabellen- und Kurvenmaterial erarbeiteten Resultate auch für den Praktiker von Nutzen. In erster Linie dient das Buch allerdings zur Erweiterung der theoretischen Kenntnisse auf dem Gebiet der Festigkeitslehre. Der interessierte Leser findet hier auch Anregungen zu eigener wissenschaftlicher Arbeit.

R. Trostel, Berlin.

DK 699.81 : 624.94.075 : 69.023.673 (023)

**Boué, Dr.-Ing. P.: Berichte des Deutschen Ausschusses für Stahlbau**, Heft 21: **Der Feuerschutz im Stahlhochbau, insbesondere von Stahlstützen**. 180 S., Gr. 21 × 29,7 cm, 140 Abb. Köln: Stahlbau-Verlags G.m.b.H. 1959. Geb. 24,— DM.

In der vorliegenden Monographie wird das gesamte Spezialgebiet des Brandschutzes von Stahlbauteilen eingehend dar-

gestellt. In den beiden ersten größeren Abschnitten werden die Grundlagen und nahezu sämtliche von 1920 bis zur Gegenwart ausgeführten Versuche des In- und Auslandes behandelt, in einem dritten kürzeren die Möglichkeiten zur Auswertung der gewonnenen Erkenntnisse durch Vorschläge für die Einführung eines deutschen Klassifizierungssystems der Brandgefahr in Gebäuden, die notwendigen Verbesserungen der Prüfvorschriften für Stahlbauteile und die sich daraus ergebende Neufassung der Anforderungen. Eine große Zahl von Bildern, graphischen Darstellungen und Tafeln ergänzen den Text. Ein Schrifttumsverzeichnis von 60 Nummern schließt das Heft ab.

Schon eine Aufzählung des Inhalts in Stichwörtern zeigt, daß der Leser über nahezu alle Einzelheiten erschöpfend informiert wird. Folgende Punkte werden behandelt: baulicher Feuerschutz im allgemeinen, Möglichkeiten zur Beurteilung der Feuergefahr, die Klassifizierungssysteme als „Punkt-Bewertungssysteme“, die Eigenschaften der Stähle und ihre Abhängigkeit von der Temperatur sowie deren Auswirkung auf Festigkeitsfragen, Schutzmaßnahmen durch sogenannte Kernfüllung, kastenförmige oder Vollummantelung, das Problem der vor der Gebäudeaußenhaut stehenden Stütze, die deutschen und ausländischen Prüfverfahren, Brandversuche in den USA, Deutschland und England, in neuester Zeit entwickelte Ummantelungen aus Vermiculite, Perlite und Mineralfasern, die Wirkung einer Kernfüllung bei mehrteiligen Stützen, die Füllung von Rohrstützen mit Beton, ihre Gefahren und deren Verhütung, Laboratoriumsversuche zur Ermittlung der erforderlichen Schichtdicken, neuartige Schutzmaßnahmen für Außenstützen und die Anwendung von Anstrichen nach Art der Feuerschutzmittel.

Während die Kapitel über die Brandversuche und ihre Ergebnisse vorwiegend den Materialprüfer und Zulasser neuer Baustoffe und Bauarten interessieren dürften, kann der Stahlbauer aus den Abschnitten über „Maßnahmen zum Schutz von Stahlbauteilen gegen Feuereinwirkung“ und „Die Wirksamkeit der verschiedenen Schutzmaßnahmen für Stahlstützen“ an Hand der beigegebenen Tabellen und Diagramme erschöpfende Auskunft über alle an ihn herantretenden Brandschutzfragen erhalten. Ganz allgemein kann das Studium der mit großer Sorgfalt zusammengestellten Schrift allen am Brandschutz interessierten Kreisen wärmstens empfohlen werden.

H. Seekamp, Berlin.

DK 627.825 : 627.821.3 : 624.074.4 (023)

**Naimi, Dr. sc. techn. H.: Beiträge zur Anwendung der Schalentheorie bei Bogenstaumauern.** Vergleich der Schalenmethoden mit den Trägerrostberechnungen (Mitteilungen aus dem Institut für Baustatik Nr. 32. 162 S., Gr. 15,7 × 21,5 cm, mit 45 Abb. Zürich: Leemann 1957, 15,— Sfr.

Im ersten Teil des Buches wird zunächst gezeigt, daß sich die Elastizitätsgleichungen der Kreiszylinderschale, wie sie z. B. in dem bekannten Buch von Flügge niedergelegt sind, auch in der Weise ermitteln lassen, daß man Arbeitsgleichungen für die Formänderungsarbeit ansetzt und die daraus sich ergebenden Integralgleichungen differenziert. Die auf diese Weise gefundenen Beziehungen werden dann durch Streichen unwesentlicher Glieder und durch Vernachlässigung der Querkontraktion vereinfacht.

In den nächsten Abschnitten werden die baustatischen Methoden der Bogenstaumauerberechnung, die von einem Trägerrost ausgehen, mit den die Kontinuität des Tragwerkes wahren Methoden der Schalentheorie verglichen, wobei der Einbeziehung der Torsion besondere Beachtung geschenkt wird.

Der Verfasser beschäftigt sich dann insbesondere mit dem Wandstärkengesetz

$$h = h_0 \cdot e^{h_1 \cdot x},$$

in welchem  $h_0$  die Kronenbreite und  $h_1$  einen noch wählbaren Parameter darstellt. Er bedient sich in sehr zweckmäßiger Weise der Randmethode, indem er die Differentialgleichungen streng und die Randbedingungen punktweise befriedigt. Es zeigt sich, daß man insbesondere dann zu brauchbaren Lösungsformen gelangt, wenn die Querkontraktion gleich 0 gesetzt wird.

Die letzten Abschnitte des Buches sind der Einbeziehung der Fundamentdeformation gewidmet, die bekanntlich einen sehr großen Einfluß auf den Spannungszustand von Bogenstaumauern besitzt, da der Elastizitätsmodul des Betons ein Vielfaches desjenigen des Felsens darstellt.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß das neue Heft der Mitteilungen aus dem Eidgenössischen Institut für Baustatik einen sehr wertvollen Beitrag zur Schalentheorie der Bogenstaumauern liefert. Auch die an der Schalentheorie allgemein interessierten Leser werden aus dem Buche reichlich Nutzen ziehen.

F. Tölke, Stuttgart.

DK 691.32 : 539.374 : 666.97.015.462 (023)

**Wagner, Dr.-Ing. O.: Das Kriechen unbewehrten Betons.** Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Heft 131. VI + 74 S., Gr. 21 × 29,7 cm, mit 129 Abb. Berlin: W. Ernst & Sohn 1958. Geh. 20,— DM.

Mit der etwa Mitte der dreißiger Jahre beginnenden technischen Verwirklichung des Spannbetons wurde die Frage der schon früher bekannt gewesenen zeitabhängigen Formänderungen des Betons bedeutungsvoll, weil von ihnen die im Bauwerk dauernd verbleibende Vorspannung hauptsächlich abhängt. gelang zwar, ausgehend von den richtungweisenden theoretischen Arbeiten Dischingers, den Einfluß des Schwindens und Kriechens des Betons auf die Schnittkräfte der Tragwerke mit ausreichender Genauigkeit anzugeben, jedoch blieben die baustoffkundlichen Erkenntnisse über die zeitabhängigen Deformationen des Betons trotz vieler Arbeiten — besonders im Auslande — hinter den statisch-theoretischen Fortschritten auf diesem Spezialgebiet wesentlich zurück.

Der Deutsche Ausschuss für Stahlbeton hat deshalb eine Reihe von Kriechversuchen veranlaßt, zu deren Vorbereitung und Abgrenzung die vorliegende Schrift vornehmlich dienen sollte. In ihr wurden die wesentlichen Ergebnisse von 147 Veröffentlichungen zum Thema beschrieben und kritisch ausgewertet. Wenn auch die Fülle des zusammengetragenen Materials einen Überblick nicht immer leicht macht, so kann doch gefolgert werden, daß trotz künftiger Korrekturen und Erweiterungen unserer jetzigen Kenntnisse über das Schwinden und Kriechen wesentliche Abänderungen der Hinweise zur Berücksichtigung dieser Einflüsse auf die Schnittlasten der Tragwerke in den geltenden Vorschriften nicht zu erwarten sind. Trotzdem ist das Studium dieses Buches nicht nur denjenigen zu empfehlen, die sich mit Materialfragen des Betons in Prüfanstalten und Laboratorien befassen, sondern es werden auch Praktiker in den statischen Büros und Ingenieure, zu deren Aufgaben die Herstellung des Betons auf der Baustelle gehört, Nutzen aus diesem Heft ziehen.

Es ist das Verdienst des Verfassers, zum erstenmal die bekannt gewordenen Untersuchungsergebnisse über das Schwinden und Kriechen des Betons in einer einzigen Schrift in einer prägnanten Form zusammengestellt und so den Lesern leicht zugänglich gemacht zu haben.

W. Koepcke, Berlin

DK 624.131 : 37 „1957“

**Schultze, Prof. Dr.-Ing. E., Prof. Dr. H. E. Schwiegers.** Dipl.-Ing. G. Coesfeld, Dipl.-Ing. E. Menzenbach u. Dipl.-Ing. H. Schütz: **Baugrundkursus 1957.** Mitteilung Heft des Instituts für Verkehrswasserbau, Grundbau u. Bodenmechanik der Technischen Hochschule Aachen, 139 S., Gr. 14,8 × 21 cm, mit 38 Abb. Aachen 1958. Brosch. 8,— DM.

Der Baugrundkursus 1957 wandte sich an weite Ingenieurkreise des Landes Nordrhein-Westfalen und brachte Einführungskurse für Teilnehmer, die sich bisher mit Bodenmechanik noch wenig beschäftigt hatten; außerdem behandelte er Spezialfragen, wobei bereits bodenmechanische Grundkenntnisse vorausgesetzt wurden. Der Kursus begann mit einer Schilderung der wichtigsten Ergebnisse des 4. Internationalen Kongresses für Bodenmechanik und Grundbau in London. Den an „Anfänger“ gerichteten Vorträgen gehörten die Themen „Erdstatische Berechnung bei Hochbauten“ und „Praktische Anwendung der Erdstatik im Grundbau“. Die Belange des Bergbaues wurden durch den Vortrag „Bodenmechanische Forschungen im Braunkohlentagebau“ berücksichtigt. Ein weiteres Spezialthema behandelte die Tonminerale in Böden und ihre Bestimmung. Den Abschluß bildete ein Vortrag des Institutsdirektors Prof. Dr.-Ing. Schultze über die Verteilung der Sohlpressungen unter Fundamenten. Bei diesem Thema wurden die Berechnungsmethode mit den bisher erzielten Meßergebnissen verglichen.

Wie schon vor 2 Jahren, gelang es auch dieses Mal, ein groß angelegtes Baugrundkursus das gesamte sehr unterschiedliche Auditorium zu interessieren und zu unterrichten.

H. Lorenz, Berlin

K 532.542.001.24 (022)

**Richter, Dr.-Ing. habil. H.: Rohrhydraulik.** Ein Handbuch zur praktischen Strömungsberechnung. 3. überprüfte und ergänzte Aufl. VIII u. 354 S., Gr. 17 × 24 cm, mit 2 Abb., 69 Zahlentafeln, 36 prakt. Berechnungsaufgaben und 1 Druckverlusttafel. Berlin/Göttingen/Heidelberg: Springer 1958. Gzln. 35,50 DM.

Das schnelle Erscheinen der dritten Auflage spricht für die Bedeutung des Buches für Industrie und Wissenschaft. Als Anleitung wird auf rund 40 Seiten eine knappe Darstellung der Strömungslehre einschließlich der Ähnlichkeitsgesetze gegeben. Der Hauptteil ist dem Spezialfall der Rohrströmung gewidmet. Hier wiederum findet sich eine Unterteilung in die wissenschaftliche Betrachtungsweise durch Theorie und Versuch, und die „Praktische Berechnung“ von Rohrleitungen. Diese ist weiter unterteilt in Theorie und Praxis. Die Theorie erklärt der Verfasser mit der Notwendigkeit, für die technische Berechnung einfache Formeln haben zu müssen. In dem der Praxis gewidmeten Teil findet man eine Fülle von Widerstandsbeiwerten und anderen Koeffizienten, die jedem Ingenieur willkommen sein werden. Leitungen für tropfbare Flüssigkeiten, für Luft und Gase sowie für Dampf werden an vielen instructiven Beispielen behandelt.

R. Wille, Berlin.

K 621.039 : 539.1 (03)

**Höcker, Prof. Dr.-Ing. K. H., und Dipl.-Ing. K. Weimer: Lexikon der Kern- und Reaktortechnik.** 2 Bände, 1685 S., Gr. 12 × 18 cm, mit 310 Abb. Stuttgart: Franckh 1959. Gzln. 125,— DM.

Die Nutzung der Atomkernenergie ist ein außerordentlich komplexes Gebiet, auf dem Physiker, Chemiker, Metallurgen, Verfahrenstechniker, Maschinen-, Elektro- und Bauingenieure, Biologen, Radiologen u. a. zusammenarbeiten müssen. Die notwendige enge Zusammenarbeit ist aber nur möglich, wenn Wissenschaftler oder Ingenieure eines Fachgebietes über eine genügende Einsicht in die tangierenden Probleme der anderen Fachgebiete verfügen. Der Aufgabe, eine Zusammenarbeit der verschiedenen Zweige der Naturwissenschaft und Technik bei der Nutzung der Kernenergie zu erleichtern, wird dieses Lexikon in hervorragender Weise gerecht. Begriffe aus folgenden Sachgebieten werden von bedeutenden Fachwissenschaftlern definiert und prägnant erläutert: Allgemeine Atom- und Kernphysik, Reaktorphysik, Fusionsphysik, Kernverfahrenstechnik und Wärmetechnik, Reaktor-Werkstoffkunde, Isotopentrennung,

Spaltstoffaufbereitung, Radiochemie und Isotopentechnik, Strahlenschutztechnik, Beschleunigertechnik, Meßgerätetechnik, Radiologie. Jedem Stichwort ist die entsprechende englische und französische Bezeichnung beigelegt. In einem Anhang zu Band I befinden sich tabellarische Zusammenstellungen über Reaktoren, Isotope usw. Der Schluß des II. Bandes enthält ein englisch-deutsches und ein französisch-deutsches Wörterverzeichnis. Das Lexikon wird für alle diejenigen, die direkt oder indirekt mit Problemen der Kerntechnik zu tun haben oder zunächst nur außerberuflich daran interessiert sind, von großem Nutzen sein.

Th. Jaeger, Berlin.

## Neuerscheinungen

**Technisch-Wissenschaftliche Mitteilungen der Emschergenossenschaft und des Lippeverbandes.** Heft 1 (Juli 1959). 57 S., Gr. 18,5 × 26 cm, mit zahlreichen Abb. u. Tab. Essen. Inhalt: Bauass. Dr.-Ing. G. Müller-Neuhaus: Entwicklung und Stand der Abwasserreinigung im Emschergebiet. Dr.-Ing. W. Noack: Beitrag zur Bemessung von Faulräumen.

**Schreyer: Praktische Baustatik,** Teil I. 11. neubearb. Aufl. von Baurat a. D., Dipl.-Ing. H. Ramm und Baurat Dipl.-Ing. W. Wagner. VI u. 156 S., Gr. 16,5 × 23,5 cm, mit 325 Abb. Stuttgart: B. G. Teubner 1959. Kart. 9,40 DM, Halbn. 11,40 DM.

**Wendehorst, Dipl.-Ing. R.: Bautechnische Zahlentafeln.** 12., überarbeit. u. erweit. Aufl. 280 S., Gr. 14 × 19,5 cm, mit zahlr. Abb. u. Tab. Stuttgart: B. G. Teubner 1959. Kart. 12,— DM, geb. 13,80 DM.

**Weilbier, R.: Aufmaß und Abrechnung aller Bauarbeiten nach der Verdingungsordnung für Bauleistungen (VOB).** Bilder für richtige Aufmaß, Formeln zur Massenberechnung, Auslegung von Sonderfällen. Bd. 1: **Erdarbeiten bis Naturwerksteinarbeiten.** 488 S., Gr. 15 × 21,5 cm, mit zahlreichen Abb. Geb. 25,— DM. Bd. 2: **Betonwerksteinarbeiten bis Steinsetzer- (Pflaster-) arbeiten.** 488 S., Gr. 15 × 21,5 cm, mit zahlr. Abb. Geb. 25,— DM. Berlin: Ullstein Fachverlag 1959.

**Werkmeister, P.: Vermessungskunde. II: Horizontalaufnahmen und ebene Rechnungen,** 8. Aufl. von Prof. Dr.-Ing. W. Grossmann. (Sammlg. Götschen Bd. 469). 133 S., Gr. 10,5 × 15,5 cm, mit 97 Abb. Berlin: Walter de Gruyter 1959. Brosch. 3,30 DM.

**Beton-Kalender 1959.** Taschenbuch für Beton- und Stahlbetonbau sowie die verwandten Fächer. Unter Mitwirkung hervorragender Fachleute herausgegeben vom Verlag der Zeitschrift „Beton- und Stahlbetonbau“. Schriftleitung: Dipl.-Ing. Georg Ehlers, Frankfurt/M. XLVIII. Jahrgang. Gr. DIN A 6. Teil I und II zusammen XX, 1526 S. mit 1441 Abb. Berlin: W. Ernst & Sohn 1959. Geb. 20,— DM (Abgabe erfolgt nur geschlossen).

**Moderne Unfallverhütung 1959.** Herausgeg. von der Hütten- und Walzwerksberufsgenossenschaft Essen. 114 S., Gr. DIN A 4, mit 176 Abb. u. Tabellen. Essen: Vulkan-Verlag 1959. Brosch. 9,20 DM.

## Verschiedenes

### Professor Karl Hetzel 70 Jahre alt

Regierungsbaurat a. D., Dipl.-Ing. Karl Hetzel, o. Professor em. für Tunnelbau und Baubetriebslehre an der Techn. Hochschule München, erreicht am 25. November 1959 das siebzigste Lebensjahr. Er besuchte das hum. Gymnasium zu Kempen i. Allgäu und bezog darauf die T. H. München. Nach der Ausbildungspraxis für den höheren Staatsbaudienst, vor allem in Saalachwerk, und nach den „Wanderjahren“ in verschiedenartigster Tätigkeit, so an der T. H. München, an der Bayer. in. Abt. der Reichsbahn und bei der Innwerk-A.G., wurde er 1923 vom Vorstand der eben gegründeten Rhein-Main-Donau-G. zur Leitung der Bauarbeiten für das Donaukachtelwerk in Passau berufen. Mit Können, Energie und Gewandtheit wurde er dieser schwierigen Aufgabe Herr. Er hatte auch noch Gelegenheit, seine Eisbrecher im Stauraum persönlich zu erleben. Aus den Erfahrungen daraus entstand eine vielbeachtete Schrift, deren Vorschläge zu systematischer Eisarbeit dem Betrieb weiterer Donauwerke immer noch von Nutzen sein werden.

1930 wurde Hetzel an den durch die Emeritierung Konrad Pressels frei gewordenen Lehrstuhl für Tunnelbau der T. H. München berufen. Dieser Lehrauftrag erfuhr unter ihm eine beträchtliche Erweiterung. Er übernahm zum Tunnelbau die Stollen, namentlich die Hochdruckstollen, als gleichwertigen Werkstoff. Sein Hauptwerk aber war die erstmalige Einführung der allgemeinen Vorlesung über Baubetriebslehre und in Verbindung damit eine Lehre der Kostenermittlung auf der Grundlage des Einrichtungs- und des Betriebsplanes einer Bauleitung.

Hetzel wirkt jetzt über 25 Jahre als Hochschullehrer, bei den Studierenden hoch angesehen und beliebt. Alle Kollegen

schätzen den vielseitigen Mann und den aufrechten Menschen, dessen Meinung immer Gewicht hat und der ihr zuweilen mit erfrischendem Humor Geltung zu verschaffen weiß. Neben der Lehrverpflichtung übernahm er oft genug die Dekansarbeit für die Fakultät. In der schweren Zeit nach dem Kriege bewährte sich seine Tatkraft beim Wiederaufbau der Hochschule. Seine reiche Hochschulerfahrung und sein gesundes Urteil sind in Ausschüssen aller Art nach wie vor begehrt. Auch nach außen hin wirkt er immer noch als der gesuchte Ratgeber. Seiner Tätigkeit als Experte beim Bau des Tunnels der Bayer. Zugspitzbahn gedenkt er besonders gerne.

An den Allgäuer Bergen maß Hetzel während der Gymnasialzeit die jugendlichen Kräfte. Von daher stammt seine Liebe zum Bergsteigen und zur Felsklettern der klassischen Art. Mögen ihm noch viele Jahre zu nunmehr bedächtiger alpinen Betätigung vergönnt sein, zur Erholung von seinen praktischen und wissenschaftlichen Arbeiten, deren Vollendung ihm am Herzen liegt!

Prof. K. Flierl, München.

### Oberingenieur Ludwig Rentsch — 70 Jahre

Am 29. 8. 1959 vollendete Oberger. L. Rentsch, alleinhaltender Gesellschafter der Bauunternehmung Bernhard Fischer KG., Duisburg, sein 70. Lebensjahr.

Seine reichen Erfahrungen und seine besonderen Kenntnisse auf dem Gebiete des Wasserbaues, der Gründungs- und Rammarbeiten, und nicht zuletzt sein offenes, gerades Wesen haben seinen Ruf als Unternehmerpersönlichkeit begründet.

Die Wertschätzung und das hohe Ansehen, das Herr Rentsch überall genießt, lassen sich durch einen Hinweis auf seine zahlreichen Ehrenämter kennzeichnen. So ist er — um

nur einige Daten aus der Nachkriegszeit zu nennen — seit 1947 Mitglied des Beirats der Wirtschaftsvereinigung Bauindustrie Nordrhein-Westfalen und war von 1947 bis 1955 Vorsitzender der Bezirksuntergruppe Duisburg des gleichen Verbandes. Seit 12 Jahren ist er Mitglied der Vollversammlung der Industrie- und Handelskammer Duisburg-Wesel und verschiedener anderer Ausschüsse. Seit 1954 ist er darüber hinaus als Arbeitsrichter beim Arbeitsamt Duisburg tätig und seit 1955 Vorsitzender des Berufsausbildungsausschusses der Bauindustrie des Landes Nordrhein-Westfalen.

Mögen ihm noch viele Jahre erfolgreicher Tätigkeit zum Wohle seines Unternehmens und zum Wohle der Bauwirtschaft unseres Landes beschieden sein.

Schwarze.

### Baudirektor Dr.-Ing. Konrad Havemann 60 Jahre

Am 4. August 1959 vollendete Baudirektor Dr.-Ing. Hans Konrad Havemann, Leiter der Hauptabteilung Brücken- und Ingenieurbau des Tiefbauamtes der Baubehörde Hamburg, sein 60. Lebensjahr.

Nach Ableistung der Militärdienstpflicht im ersten Weltkrieg als Artillerist studierte Havemann zunächst Naturwissenschaft an der Universität Hamburg und ab 1920 Bauingenieurwesen an der TH Darmstadt. Hier promovierte er 1927 während einer mehrjährigen Assistententätigkeit.

1928 nahm Havemann seine Tätigkeit bei der Baubehörde Hamburg auf. Diese bestand bis zum zweiten Weltkrieg, den Havemann in ständigem Fronteinsatz, zuletzt als Regimentskommandeur, mitmachte, in der Aufschließung der östlichen Stadtgebiete. Hier waren bereits größere Ingenieuraufgaben mit zahlreichen Brückenbauten zu lösen.

Die erste Zeit nach 1945 war mit der Durchführung von Wiederaufbauarbeiten in Hamburg ausgefüllt. Havemann wurde insbesondere die Instandsetzung kriegszerstörter Brücken übertragen. Im Zuge der Verkehrs- und Wirtschaftsentwicklung nach der Währungsreform bis heute ist von Havemann, der 1951 die Leitung seiner Abteilung übernahm, ein umfangreiches Bauprogramm mit bedeutenden Ingenieuraufgaben bewältigt worden.

Von den bemerkenswerten Brückenbauten der letzten Jahre, die unter Havemanns Leitung entstanden sind, ist zunächst die Neue Lombardsbrücke zu nennen. Die Ende 1951 begonnene und auf etwa 5 Jahre Bauzeit veranschlagte Verbreiterung der Norderelbbrücke und der Billhorner Brücke mit dem Ziel, diesen täglich mit über 60 000 Kraftwagen belasteten Elbübergang grundlegend zu verbessern, ist zu einem Schwerpunkt des Großbrückenbaues geworden. Bei weiteren Brücken im Zuge dieser Nord-Süd-Achse und der gleichzeitig in Angriff genommenen Ost-West-Achse handelt es sich vorwiegend um komplizierte Kreuzungsbauwerke.

Die rapide Verkehrsentwicklung in Hamburg führte auch zu einer großzügigen Erweiterung des vorhandenen U-Bahn-Netzes. Anfang 1958 wurde Havemann zusätzlich bautechnischer Dezernent für den U-Bahn-Neubau. Im Rahmen dieser Tätigkeit hat er sich insbesondere für die Anwendung neuer Bauweisen bei oftmals schwierigen Lösungen eingesetzt.

Auf dem Gebiete des Ingenieurhochbaues wurden Havemann ebenfalls beachtliche Aufgaben gestellt. Hier sind in erster Linie die Hallenbauten für den Obst- und Gemüse-Großmarkt in Hammerbrook mit einer Verkaufshalle von 40 000 m<sup>2</sup> Grundfläche, die Fleischgroßmarkthalle im Zentralschlachthof sowie die beiden Flugzeughallen von je 13 000 m<sup>2</sup> Grundfläche für die Luftwerft der Deutschen Lufthansa in Hamburg-Fuhlsbüttel zu nennen.

Havemann, der inzwischen auf eine über 30jährige erfolgreiche Tätigkeit bei der Baubehörde Hamburg zurückblicken kann, ist kürzlich wieder vor neue große Bauaufgaben gestellt worden. Es handelt sich hierbei um die Umgehungsautobahn Hamburg mit 28 Kunstbauten, darunter einem Tunnel und einer weiteren Brücke über die Norderelbe.



Mögen dem verdienstvollen Fachmann und hochgeschätzten Menschen Havemann noch viele gesunde, glückliche und erfolgreiche Jahre auf seinem verantwortungsvollen Posten beschieden sein!

Dr. F.-H. Brüggemann, Frankfurt/M.

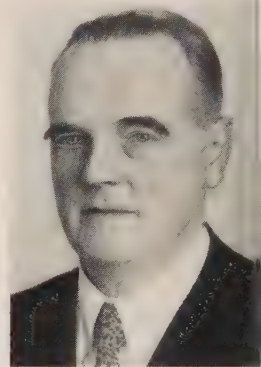
### Professor Karl Girkmann †

Am 14. Juli d. J. hat die Fachwelt einen schweren Verlust erlitten. Der emer. Ordinarius für Elastizitäts- und Festigkeitslehre an der Technischen Hochschule in Wien, Dipl.-Ing. i. techn. Dr. techn. h. c. Karl Girkmann, ist nach langem Leiden einem Herzinfarkt erlegen. 1890 in Wien geboren, wurde Girkmann bei Ausbruch des ersten Weltkrieges unmittelbar vor Abschluß seines Studiums in das traditionsreiche k.u.k. Eisenbahnregiment einberufen, wo er als Pionieroffizier an bedeutenden Bauten in der österreichisch-ungarischen Monarchie mitwirkte. Nach Abschluß seines Studiums im Jahre 1919 begann Girkmann ein zwölf Jahre währendes praktisches Werk im Stahlbau, das ihn zunächst zur Allgemeinen Elektrizitätsgesellschaft in Wien führte. Während dieser Tätigkeit leitete Girkmann das Sondergebiet der Hochspannungsfreileitungen von der Stahlbauseite her theoretisch und konstruktiv gründlich durchforscht, und als Niederschlag dieser wissenschaftlichen Arbeiten erschien 1938 im Springer-Verlag das gemeinsam mit dem Elektrotechniker Königshofer verfaßte Buch „Hochspannungsfreileitungen“, das nun in zweiter Auflage vorliegt. In seiner weiteren beruflichen Laufbahn im Stahlbau hat Girkmann zuerst bei den Wanitsch-Hild-Werken in Graz und besonders bei der Waagner-Biró A.G. in Wien eine Reihe von sehr bemerkenswerten Bauten geplant und ausgeführt; so z. B. den ersten großen Stahlskelettbau Österreichs in Linz, Dreibrücken für das Ausland, Großbehälter, Stahlwasserbauten und eine Reihe von Brücken neuartiger Konstruktion.

Einer Einladung des weltbekannten Wiener Stahlbau-Professors Hartmann folgend, kehrte Girkmann 1931 von der Praxis in das akademische Lehramt zurück und habilitierte sich für Stahlbau mit seiner Arbeit „Beitrag zur Berechnung von Behältern“. Im Jahre 1937 erfolgten zwei primo loco Berufungen und zwar an die Technische Hochschule in Graz und als Nachfolger von Fillunger an die Technische Hochschule in Wien. Girkmann entschied sich für Wien und ist seiner alma mater treu geblieben, an der er auch im Studienjahre 1949/50 das höchste akademische Ehrenamt eines Rector magnificus kleidete. Von den vielen weiteren Ehrungen, die Girkmann empfing, seien hier nur zwei besonders hervorgehoben: 1950 erfolgte Wahl zum wirklichen Mitglied der Akademie der Wissenschaften in Wien und die Verleihung des Ehrendoktorates durch die Technische Hochschule in Graz im Jahre 1958. Anlässlich seines 60. Geburtstages wurde ihm gemeinsam seinem Fachkollegen und Freund Karl Federhofer eine Festschrift gewidmet.

Girkmanns größtes Verdienst auf wissenschaftlich-technischem Gebiet ist die Verfassung des Lehr- und Handbuchs „Flächentragwerke“, das im Springer-Verlag erschienen ist und dessen nun fertiggestellte fünfte Auflage er leider nicht mehr erleben konnte. In diesem Werk ist erstmalig in der deutschsprachigen Fachliteratur eine Gesamtdarstellung des Gebietes der Flächentragwerke für den Bauingenieur gegeben. Girkmanns sonstige wissenschaftlichen Arbeiten, die in 50 Veröffentlichungen ihren Ausdruck fanden, umfassen vor allem Stabilitäts- und Festigkeitsprobleme der Platten, Scheiben und Schalen.

Große fachliche Leistung ist nicht immer mit starker charaktervoller Persönlichkeit verknüpft. Bei Girkmann war dies doch in vollendetem Maße der Fall. Obwohl er seine Arbeitskraft bis zur Erschöpfung seiner gesundheitlichen Reserve seiner Forschertätigkeit widmete, hat er auch stets noch für Nöte und Sorgen seiner Hörer Zeit gehabt und war ein wirklich bildlicher akademischer Lehrer für eine Generation von Studenten. Die zwei Kardinealeigenschaften eines Hochschullehrers, der Theorie und Praxis schöpferisches zu geben und seine Schülern als Lehrer nicht nur Wissen, sondern auch Persönlichkeitswerte zu vermitteln, waren in schöner Harmonie in Girkmann vereint, einer Harmonie, die auch sonst sein Wesen



stimmte und ihn in seiner kargen Freizeit stark zu musischer Tätigkeit hinstellte. Der Fachwelt und besonders seinem engeren Freundeskreis wird Girkmann unvergessen bleiben.

Prof. H. Beer, Graz.

### Direktor Bansen Dr.-Ing. E. h.

Herrn Direktor Dr.-Ing. Werner Bansen, Vorstandsmitglied der Grün u. Bifinger A.G., wurde am 10.7.1959 von der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen auf Beschluß der Fakultät für Bauwesen in Anerkennung seiner großen Verdienste auf den Gebieten des Beton-, Stahlbeton- und Betonfertigteilbaues sowie um die Erhaltung des sozialen Friedens und um die Nachwuchsförderung in Wissenschaft und Wirtschaft die akademische Würde Doktor-Ingenieur Ehren halber verliehen.

### Zuschrift

zum Beitrag Meschan: Ringträgerberechnung für den Unterbau von Großbaggern und -absetzern. Bauingenieur 34 (1959), H. 4, S. 138.

Im Zuge der Entwicklung des Berechnungsverfahrens für Ringträger der schwenkbaren Großgeräte des Braunkohlentagebaues unter Anwendung der Balkenbiegetheorie für die Ringscheiben und der Membrantheorie für den Zylindermantel, das F. Meschan für sein Zahlenbeispiel benutzte, wurde in den dreißiger Jahren im Ingenieurbüro von Herrn Professor Dr.-Ing. K. Beyer, Dresden, in Zusammenarbeit mit den Spezialfirmen auch ein Verfahren gefunden, mit dessen Hilfe Grenzwerte der Schnittkräfte ohne Verwendung von Einflußlinien ermittelt werden können.

In der damaligen Zeit vollzog sich bei den Großgeräten der Übergang von der Drei- oder Vierpunkt- abstützung des Oberteils auf dem Unterwagen zur Kugelbahn, so daß der Lastenzug des Oberteils für den Unterwagen nicht mehr durch Einzellasten, sondern durch eine stetige Belastungsfunktion dargestellt war.

Der Lastenzug des Oberteils aus vertikalen Lasten ist durch die Vertikalkraft  $V$  im Abstand  $e$  von Kugelbahnmitte, die Stellung des Oberteils zum Unterwagen durch den Winkel  $\varphi$  bestimmt.

Der allgemeine Belastungszustand kann in drei Einheitsbelastungsfälle aufgespalten werden:

1. Zentrisch wirkende Last  $V$ .
2. Versetzungsmoment  $M_x = V \cdot e \cdot \cos \varphi$ .
3. Versetzungsmoment  $M_y = V \cdot e \cdot \sin \varphi$ .

Der zentrisch wirkenden Last  $V$  entspricht ein konstanter

$$\text{Kugeldruck } p_1(\varphi) = \frac{V}{2 \cdot r_a \cdot \pi},$$

$$\text{dem Versetzungsmoment } M_x \text{ ein Kugeldruck } p_2(\varphi) = \frac{M_x}{r_a^2 \cdot \pi} \cdot \cos \varphi,$$

$$\text{dem Versetzungsmoment } M_y \text{ ein Kugeldruck } p_3(\varphi) = \frac{M_y}{r_a^2 \cdot \pi} \cdot \sin \varphi.$$

Die Berechtigung zu dieser Aufteilung hat F. Kurth nachgewiesen [1].

Die Lastfälle  $V$  und  $M_x$  sind zur  $Y$ -Achse symmetrisch, der Lastfall  $M_y$  antisymmetrisch.

Wird eine Schnittkraft infolge  $V = 100 \text{ t}$  mit  $m_1$ , infolge  $M_x = 100 \text{ mt}$  mit  $m_2$  und infolge  $M_y = 100 \text{ mt}$  mit  $m_3$  bezeichnet, so wird eine Schnittkraft für eine durch die drei Größen  $V, e, \varphi$  charakterisierte Belastung

$$m = \frac{V}{100} \{ m_1 + e \cdot \cos \varphi \cdot m_2 + e \cdot \sin \varphi \cdot m_3 \}.$$

In dem Wert  $m$  ist der Anteil

$$m = \frac{V \cdot e}{100} \{ \cos \varphi \cdot m_2 + \sin \varphi \cdot m_3 \}$$

mit dem Winkel  $\varphi$  veränderlich, er erhält seinen Grenzwert für

$$\frac{dm}{d\varphi} = 0 = \frac{V \cdot e}{100} \{ -\sin \varphi \cdot m_2 + \cos \varphi \cdot m_3 \}.$$

Durch Quadrieren und Zusammenfassen beider Gleichungen ergibt sich

$$\bar{m} = \pm \frac{V \cdot e}{100} \sqrt{m_2^2 + m_3^2}.$$

Somit werden die Grenzwerte einer Schnittkraft

$$m = \frac{V}{100} \{ m_1 \pm e \sqrt{m_2^2 + m_3^2} \}.$$

Sie können also ohne Kenntnis der Laststellung gefunden werden, die im Bedarfsfalle aus  $\tan \varphi = \frac{m_3}{m_2}$  zu ermitteln ist, um

bei Vorhandensein von mehreren schwenkbaren Teilen (z. B. Bandgeräten bei Schaufelradbaggern) eine „wilde Superposition“ verschiedener Einflüsse zu umgehen.

Die Ringträgerberechnung kann dabei erheblich vereinfacht werden, wenn von der Belastungsumordnung in symmetrische ( $V, M_x$ ) und antisymmetrische ( $M_y$ ) Belastungsanteile Gebrauch gemacht wird.

Für den symmetrischen Anteil ist die Ringscheibe zweifach, für den antisymmetrischen Anteil einfach statisch unbestimmt.

Hinzu kommen Überzählige, die sich aus dem zweiwandigen Anschluß der Stützpunkte an den Zylindermantel ergeben und auf die bei einer zuverlässigen Berechnung nicht verzichtet werden kann.

Werden im Hauptsystem die Stützkraften je zur Hälfte in die beiden Anschlußwände geleitet, d. h. also die Verbindungskante der beiden Stützwände in der theoretischen Stützkraftwirkungslinie aufgeschnitten und die in dieser Kante wirkende Querkraft jeweils als weitere Überzählige eingeführt, so erfordern die symmetrischen Lastfälle bei entsprechender Wahl von Gruppenlasten eine weitere Überzählige, der antisymmetrische Lastfall zwei.

Bei Ausnutzung der Symmetrieeigenschaften von System und Belastung lassen sich dann die Schnittkräfte im statisch unbestimmten System mit einem vertretbaren Rechenaufwand in den Parametern  $r_a$  = Radius des Kugelkranzes;  $r$  = Radius des Schwerpunktkreises der Ringscheiben;  $R$  = Abstand der Stützpunkte von Kugelkreismitte;  $h$  = Mantelhöhe darstellen, so daß die Verwendung von Rechenautomaten für die sehr zeitraubende und wegen der Fehlerempfindlichkeit sehr genau durchzuführende Zahlenrechnung möglich ist. Sinngemäß gelten diese Feststellungen auch für die Belastungszustände aus Einzellasten, die der Bildung von Einflußlinien zugrunde liegen.

Dr.-Ing. K.-H. Klemmt, Rheinhausen.

### Literatur:

1. F. Kurth: Spannungszustand in räumlich gestützten Ringträgern bei Zwischenschaltung von Kugeln, Dissertation Dresden 1938.

### Erwiderung

Herr Dr.-Ing. K.-H. Klemmt, Rheinhausen, hat mich darauf aufmerksam gemacht, daß sowohl bei den statisch bestimmten als auch bei den statisch unbestimmten Momentenflächen Knickpunkte an den Eintragungsstellen der aus den Stützkraften herrührenden horizontalen Einzelkräfte fehlen und daß sich beispielsweise die statisch unbestimmte Momentenfläche nach Abb. 18 nicht aus der statisch bestimmten Momentenfläche nach Abb. 14 erklären läßt, da durch die 3 Überzähligen kein Knick am Punkt 1 entstehen kann.

Es handelt sich in beiden Fällen um zeichnerische Ungenauigkeiten, die auf die Auswertung der Einflußlinien keinen Einfluß haben. Dr.-Ing. F. Meschan, Rheinhausen.

### Bericht über die Versammlung des Wupperverbandes am 23. 6. 1959

Aus diesem Bericht wären folgende interessante Einzelheiten zu erwähnen:

Der Bau der Kläranlage Wermelskirchen-Süd soll noch in diesem Jahr beginnen.

Leistung des Klärwerks Wuppertal-Buchenhofen:

43 200 000 m<sup>3</sup> Abwasser wurden gereinigt, davon 34 900 000 m<sup>3</sup> mechanisch und teilbiologisch und 8 300 000 m<sup>3</sup> mechanisch. Aus dem Klärgas der Anlage wurden 2 600 000 kWh Strom erzeugt. Auf dem Klärwerk Schwelm wurden die beiden neuen Faulbehälter in Betrieb genommen und die Arbeiten für die

biologische Reinigung weitergeführt und auf der Kläranlage Radevormwald das Regenklärbecken, die beiden Absetzbecken und der Faulbehälter im Rohbau fertiggestellt.

Die Niederschlagshöhe lag im Wasserwirtschaftsjahr 1958 mit 1655 mm rd. 28 % über dem 50jährigen Mittel. An Trinkwasser wurden aus dem Wupperegebiet 45,5 Mio m<sup>3</sup> gefördert, davon 43,5 Mio m<sup>3</sup> aus Talsperren, 17,7 Mio m<sup>3</sup> wurden aus außerhalb des Wupperegebietes liegenden Wasserwerken übergeleitet. An Fabrikations-, Kühl- und Kesselspeisewasser wurden ohne Kleinbetriebe 44,5 Mio m<sup>3</sup> gefördert. Der Gesamtwasserverbrauch lag bei 105,8 Mio m<sup>3</sup> und damit 12 % höher als 1957.

Seit dem Monat Februar d. J. beginnt eine große Trockenheit sich abzuzeichnen. Zu Beginn des Monats Mai waren die Talsperren des Wuppereverbandes nur zu 62 % gefüllt. Die Monate Mai und Juni erforderten eine starke Wasserabgabe an die Wupper, so daß die Talsperren des Verbandes z. Zt. nur noch eine Füllung von 21 % ihres Gesamtinhaltes aufzuweisen haben. Wenn nicht schon in aller Deutlichkeit, wie dringend die Schaffung neuen Talsperrenraumes sowohl zur Gewinnung von Trinkwasser (Dhünntalsperre) als auch zur Anreicherung der Wupper (Wuppertalsperre) ist.

Möhle, Wuppertal.

### Neue DIN-Normen

DIN 536. Blatt 1. Kranschinen (April 1959).

DIN 1013. Stabstahl; warmgewalzter Rundstahl (Juni 1959).

DIN 1017. Blatt 1 und 2. Flachstahl, für allgemeine und besondere Verwendung (Juni 1959).

DIN 1024. Stabstahl; warmgewalzter rundkantiger T-Stahl (Juni 1959).

DIN 55 928. Schutzanstrich von Stahlbauwerken; Richtlinien (Juni 1959).

DIN 1056 und DIN 1057. Freistehende Schornsteine; Mauersteine und Mauerziegel, Richtlinien für die Prüfung der Baustoffe (April 1959).

### Berichtigung

zum Beitrag Chwalla, Die neuen Hilfstafeln zur Berechnung von Spannungsproblemen der Theorie zweiter Ordnung und von Knickproblemen. Bauingenieur 34 (1959), H. 4, S. 128 und H. 6, S. 240.

Auf Seite 132 in der zweiten Gl. 1.4.10 muß es heißen:  $\sin \varepsilon (1 - \xi)$  statt  $\sin (1 - \xi)$ .

Auf Seite 134 muß es im Text unmittelbar vor Gl. 1.5.2 heißen: „Da der Stab zur Mitte symmetrisch ausgebildet ist, ist die Reihenfolge der die beiden Stabenden bezeichnenden Zeiger bei den Größen...“ statt „Da der Stab zur Mitte symmetrisch ausgebildet ist, gilt  $s_{ba} = s_{ab}$  und  $c_{ba} = c_{ab}$ ; die Reihenfolge der die beiden Stabenden bezeichnenden Zeiger ist hier ebenso wie bei den Größen...“. In der Überschrift zum Abschnitt 1.6 muß  $s$  und  $c$  stehen statt  $s$  und  $c$ .

Auf Seite 135 in Gl. 1.6.9 muß es heißen  $\bar{s}_{bc}$  statt  $\bar{s}_{ba}$ . In Gl. 1.7.4 muß es heißen  $\bar{c}_{ab}$  und  $C_{ab}$  statt  $c_{ab}$  und  $A_{ab}$ . Unmittelbar nach der Gl. 1.6.5 soll der Text lauten: „wobei hier  $c_{ab} = B'_{ab}/A'_{ab}$  der aus den Hilfstafeln [1] übernommenen Wert ist“ statt „wobei  $\bar{s}_{bc}$  und  $\bar{c}_{bc}$  vorher in analoger Weise berechnet worden sind.“

Auf Seite 242 ist in den drei Gleichungen 1.9.10 der Zeiger 1 mit dem Zeiger 3 zu vertauschen.

E. Chwalla, Graz.

## Mitteilungen aus der Industrie

In diese Spalte werden kurze Mitteilungen von Bauwirtschaft und Industrie aufgenommen, die sich auf das Arbeitsgebiet der Zeitschrift beziehen und Neuheiten behandeln. Der Umfang der Manuskripte darf, einschl. eines etwaigen Bildes, höchstens 50 Schreibmaschinenzeilen betragen. Für den Inhalt ist der Einsender verantwortlich. Die Auswahl behält sich die Redaktion vor.

### Stahlschalungen für Kanalisations- und Wasserleitungsschächte

Es hat sich gezeigt, daß Stahlschalungen für dieses Anwendungsgebiet, mit immer wiederkehrenden Bauteilen gleicher Form, gegenüber der Einzelanfertigung von Holzschalungen bedeutende Vorteile bieten und wegen ihrer hohen Lebensdauer auch sehr wirtschaftlich sind. In Zusammenarbeit mit Behörden und Tiefbauunternehmen hat die Fa. NOE-Schaltechnik (Georg Meyer-Keller K.G.), Süssen/Würt., Stahlschalungen für die am häufigsten vorkommenden Abmessungen entwickelt, die die Voraussetzungen für 200 bis 300 Einsätze bei einfachstem Zusammenbau und kurzen Arbeitszeiten bieten.



Abb. 1

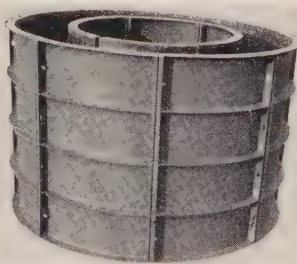


Abb. 2

Abb. 1 zeigt den Aufbau dieser Schalung für einen Kanalisations-schacht. Innenmaß unten: 110 × 110 cm, oben 60 × 60 cm, Halshöhe 150 cm, Wandstärke 25 cm. Der konische Hals wird in jedem Fall doppelhäufigt geschalt, er besteht aus je 8 Innen- und Außentafeln aus Stahlblech mit aufgeschweißter Rippenversteifung, die mit Bolzen und Keil an den Randstegen verbunden werden. Die Schalung für den Schaft, in der Regel auch doppelhäufigt, besteht aus je 4 Eckstücken und 8 Tafeln für Innen- und Außenverkleidung. Die Schaft-höhe kann durch Verwendung von ein oder zwei Satz Schaftschalungen (evtl. auch unter mehrmaligem Einsatz der Teile) beliebig eingerichtet werden.

In Abb. 2 ist eine Stahlschalung für einen runden Wasserleitungsschacht dargestellt, die aus je 6 inneren und äußeren Schal-tafeln bestehen. Die Tafeln sind gebogen und werden durch Bolzen und Keile in den Randstegen miteinander verbunden. Zur Erleichterung des Ausschalens auf der Innenseite stehen schmale, konische

Füllstücke zur Verfügung; Durchmesser 1 m bei 10 cm Wandstärke und 1 m Höhe. Durch Ergänzungsteile können natürlich verschiedene Durchmesser gewählt und für größere Höhen mehrere Schalungsringe aufeinandergebolzt werden. Der konische Oberteil wird in der Regel als Fertigbetonteil aufgesetzt.

### Tuschefüller

#### „Rapidograph“ im auswechselbaren System

Mit den neuen Systemen Rapidograph-Variant und -Varioscript werden dem Fachmann 15 Schreibelemente in einem Halterschaft geboten. Zum Zeichnen dient der Satz Rapidograph Variant mit 7 verschiedenen Liniendicken von 0,2 bis 1,2 mm nach DIN 15. Die Röhrchenspitzen sind abgesetzt und gestatten die Verwendung flach aufliegender Lineale, ohne daß die Tusche unterläuft. Mit Hilfe eines Zwischenringes und Zirkelansatzes kann man alle Schreib-elemente in den Zirkel setzen und große und kleinste Kreise ziehen.

Zum Schablonenschreiben ist der Satz Rapidograph Varioscript bestimmt mit 8 verschiedenen Schreibelementen für Schrifthöhen von 2 bis 10 mm nach DIN 1451. Die Röhrchenspitzen sind plangeschliffen und genau den genormten Schablonen angepaßt. Um eine praktische und sichere Handhabung beim Schablonenschreiben zu erreichen werden die Schreibelemente Varioscript mit einem Gelenkstück am Halterschaft befestigt. Diese Vorrichtung ermöglicht die Anpassung an jede Handhaltung. Rapidograph-Schablonen gibt es in gerader und schräger Schrift von 2 bis 10 mm, normengerecht nach DIN 1451.

Alle 15 Schreibelemente, nämlich 7 Rapidograph Variant und 8 Rapidograph Varioscript, sind abwechselnd im gleichen Halterschaft verwendbar. Das Auswechseln ist denkbar einfach und sauber, weil jedes Schreibelement vollkommen selbstständig ist und aus Kapsel, Vorderteil und Sichttank besteht. Zum leichten und bequemen Füllen der Sichttanks dient eine besonders entwickelte Füllflasche aus Kunststoff mit Rapidograph Zeichen-Tusche.

Der Verbraucher kann wahlweise je einen vollständigen Satz Variant oder Varioscript im Kasten kaufen. Andererseits werden Teile wie Halterschaft, Schreibelemente Variant und Varioscript, Gelenkstück, Zwischenring und leere Kästen auch einzeln verkauft, so daß die Sätze auch nach und nach angeschafft werden können.

### Neue Stabilo-Micro-Zeichenmine

Die Schwan-Bleistift-Fabrik, Nürnberg, brachte kürzlich die neue Mine (Nr. 8125, gekennzeichnet durch zwei rote Ringe) in 18 verschiedenen Härtegraden (7 B—9 H) heraus. Sie ergibt klare, tuscheähnliche Striche und weist eine erhöhte Bruchfestigkeit auf, wodurch ein Schmieren oder Bröckeln verhindert wird. Diese Mine ist auch gut geeignet für Arbeiten auf Lichtpausen, Transparentpapier und Folien.

Hawranek/Steinhardt

# Theorie und Berechnung der Stahlbrücken

Nach einem hinterlassenen Manuskript von Dr.-Ing. ALFRED HAWRANEK, ehem. o. Professor an der Deutschen Technischen Hochschule Brünn, vollständig neu bearbeitet von Dr.-Ing. OTTO STEINHARDT, o. Professor für Stahl-, Holz- und Steinbau an der Technischen Hochschule Karlsruhe.

Mit 269 Abbildungen. XII, 426 Seiten Gr.-8°. 1958.  
Ganzleinen DM 66,—

## INHALTSÜBERSICHT:

### Grundlegendes aus Festigkeitslehre und Elastizitätstheorie:

Allgemeines. Begriff der Spannung. Gleichgewicht am Volumenelement. Spannungszustände. Verzerrungszustände und Verschiebungen. Die Gesetze zwischen Spannung und Verzerrung (Elastizitäts- oder Stoffgesetze). Zusammenfassende Bemerkungen und Ausblick. Gleichgewichtskriterien der Mechanik starrer und elastischer Körper. Die Anwendung der Integral-Gesetzmäßigkeiten in der Stabstatik. Die Näherungsmethoden von RITZ und GALERKIN.

### Theorie der Platten:

Grundlagen. Die isotrope Platte. Die orthotrope Platte. Berechnung der Platten mittels der Theorie der Trägerroste.

### Theorie der Trägerroste:

Grundlagen. Bezeichnungen. Die Tragwirkung des Trägerrostes. Berechnungsverfahren. Berechnungsbeispiel.

### Stabilitätsprobleme:

Einführung. Knicken von Stäben (Biegeknicken). Beulen von Platten.

### Fahrbahnen:

Grundlagen. Stählerne Leichtfahrbahn tafeln (orthotrope Platten). Betonfahrbahn tafeln.

### Vollwandträgerbrücken:

Allgemeines. Drillung von Hohlquerschnitten. Stahlhohlplattenbrücken. Kasten trägerbrücken. Durchlaufende Vollwandträgerbrücken. Trägheitsmomentenverlauf bei Durchlaufträgerbrücken.

### Fachwerkträgerbrücken:

Allgemeines. Nebenspannungen in Fachwerkstäben. Besondere Stabilitätsprobleme bei Fachwerkbrücken.

### Bogenbrücken:

Allgemeines. Bezeichnungen. Stütz- und Schnittgrößen der Bogenträger. Zusammenwirken von Bogenträger und durchlaufender Fahrbahnkonstruktion. Von der klassischen Theorie zur Verformungstheorie. Knicken von Bogenträgern. Windverbände von Bogenbrücken.

### Hängebrücken:

Grundlagen. Statik erdverankerter Hängebrücken mit vollwandigen Versteifungsträgern. Dynamik erdverankerter Hängebrücken. Biege- und Torsionsschwingungen. Berechnungsbeispiel. Aerodynamische Stabilität von Hängebrücken.

### Verbundbrücken:

Grundlagen. Starrer Verbund. Elastischer und unterbrochener Verbund.

### Sachverzeichnis:

Jeder Abschnitt enthält ein Literaturverzeichnis.

SPRINGER-VERLAG

BERLIN · GÖTTINGEN · HEIDELBERG

# Kernverfahrenstechnik

## Eine Einführung für Ingenieure

Von Dr.-Ing. **WERNER MIALKI**, o. Professor für  
Allgemeine und Kern-Verfahrenstechnik an der  
Technischen Universität Berlin.

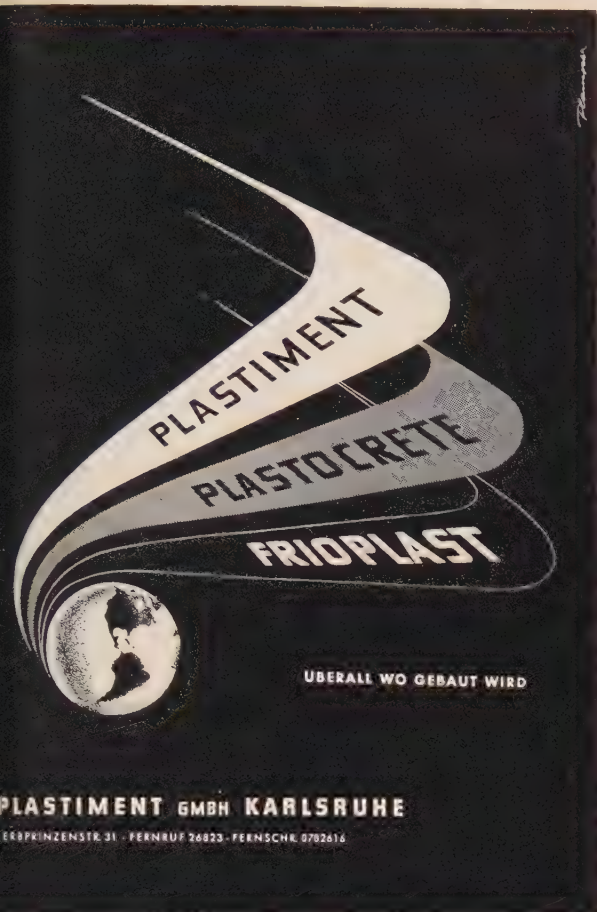
Mit 179 Abbildungen. XI, 472 Seiten Gr.-8  
1958. Ganzleinen DM 78,-

### *Aus den Besprechungen:*

„Bei diesem Werk handelt es sich im Grunde genommen um eine Zusammenstellung, die sich über einen großen Teil der amerikanischen Literatur über Reaktortechnik erstreckt. Für Ingenieure aus dem deutschen Sprachbereich, welche sich in dieses Gebiet einarbeiten wollen, wird es von großer Nützlichkeit sein. Das Werk ist nicht mit der Absicht geschrieben worden, den Physiker in seinen Berechnungen der Zusammensetzung und dem Verhaltens von Reaktorkernen zu unterstützen, sondern es richtet sich an den Ingenieur, der sich mit der Lösung diesbezüglicher technischer Probleme zu befassen hat. In einfacher aber vollständiger Weise behandelt der Verfasser in den ersten Kapiteln die für das Verständnis der Funktionsprinzipien von Reaktoren notwendigen physikalischen Grundlagen. Dies erlaubt dem Ingenieur, diejenigen Faktoren herauszuheben, welche die Konstruktion eines Kernreaktors bestimmen. — Gewisse Maßstäbe zur Illustration dieser Einführung werden in einem weiteren Kapitel die Hauptcharakteristiken solcher bestehender oder sich im Konstruktionsstadium befindlichen Reaktoren beschrieben. Die folgenden Abschnitte befassen sich mit den Problemen, welche der Bau und der Betrieb eines Reaktors aufwirft: Verwendete Materialien, Strahlenüberwachung, Reaktorsteuerung, Wärmeeextraktion und Brennstoffaufbereitung...“

*Schweizer Archiv für angewandte  
Wissenschaft und Technik*

**SPRINGER-VERLAG**  
**BERLIN · GÖTTINGEN · HEIDELBERG**



PLASTIMENT  
PLASTOCRETE  
FRIOPLAST

ÜBERALL WO GEBAUT WIRD

PLASTIMENT GMBH KARLSRUHE  
ERBPINZENSTR. 31 - FERNRUF 26823 - FERNSCHW. 0702616

## Statik der Tragwerke

Von Dr.-Ing. habil. WALTER KAUFMANN,  
o. Professor an der Technischen Hoch-  
schule München.

(Handbibliothek für Bauingenieure.  
Ein Hand- und Nachschlagebuch für  
Studium und Praxis. Begründet von  
ROBERT OTZEN. Neue Reihe heraus-  
gegeben von Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing.  
E. h. FERD. SCHLEICHER).

Vierte, ergänzte und verbesserte Auflage. Mit  
667 Abbildungen. VIII, 327 Seiten Gr.-8°. 1957.

Ganzleinen DM 31,50

SPRINGER-VERLAG

BERLIN · GÖTTINGEN · HEIDELBERG



3 Schaufeln Zement +  
13 Schaufeln Kies

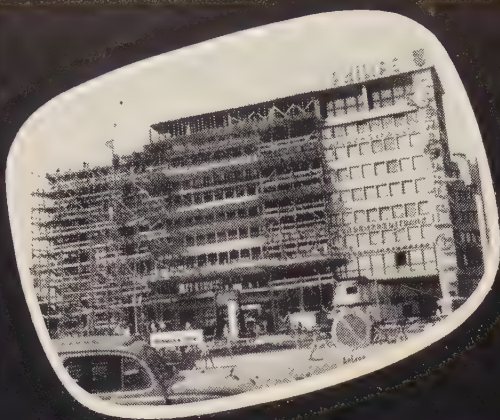
... gibt niemals B 450

... denn diese Methode, die Anteile zu bestimmen,  
ist viel zu ungenau. Selbst die Bemessung nach Raum-  
teilen reicht nicht aus: das Volumen der Zuschlag-  
stoffe ändert sich infolge von Feuchtigkeitsschwan-  
kungen bis zu 20%. Was aber 20% zu viel oder zu  
wenig Zuschlagstoff für die Festigkeit des Betons  
bedeuten, ist klar. Die Praxis legt die Betonanteile  
deshalb nach Gewicht fest: Damit kennt man die  
tatsächliche Betonquali-  
tät; teure, gefühlsmäßi-  
ge Sicherheitszuschläge  
an Zement sind nicht



mehr notwendig. Zudem lassen sich durch den Ein-  
satz zweckmäßiger Bauwaagen Arbeitskräfte für  
andere Arbeiten freistellen. Fordern Sie bitte unseren  
Prospekt W144. Er gibt Ihnen in kurzer Form einen  
Überblick über moderne Pfister-Bauwaagen!

**Pfister-Waagen**  
**Augsburg**



**\*PROLAN-BAUTEN** stellen sich vor ...  
... hier SCHIMMELPFENG-Haus Berlin Bhf. Zoo

Bei vielen repräsentativen, verkehrs-  
und lebenswichtigen Bauten unseres  
wiedererstandenen BERLIN ist

**\*PROLAN**-Betonverflüssiger  
eingesetzt worden, weil er einwand-  
frei arbeitet und auch bei Ziegelsplitt-  
Beton zuverlässig wirkt.

**HANS HAUENSCHILD & HAMBURG-WANDSBEK**

ALBERT PALM

## Registrierinstrumente

Zweite, neubearbeitete Auflage von Dr. phil.  
nat. H. ROTH, Frankfurt/Main, und Dr. rer.  
nat. E.-G. SCHLOSSER, Frankfurt/Main-Höchst.  
Mit 206 Abbildungen. VIII, 255 Seiten Gr.-8°.  
1959. Ganzleinen DM 27,—

Inhaltsübersicht: Einleitung: Über die Be-  
deutung des Registrierens in Wissenschaft und Technik.  
Stoffeinteilung · Die Registriermittel: Kontinuierliche  
Registrierung. Intermittierende Registrierung · Trieb-  
werke: Feder- und Gewichtwerke. Uhrwerke. Elek-  
trische Antriebe. Papierantrieb durch eine Meßgröße ·  
Meßwertübertragung im Registrierinstrument: Die  
verschiedenen Übertragungsarten. Bedingungen für  
die richtige Meßwertübertragung. Die Auswertung  
von Diagrammen · Beschreibung der Instrumente:  
Instrumente mit mechanischen Meßwerken. Schreiber  
mit elektrischen Meßwerken · Anwendung von Re-  
gistrierinstrumenten: Allgemeines. Elektrokardiogra-  
phen. Technische Registrieranlagen · Literaturverzeich-  
nis · Firmenverzeichnis · Sachverzeichnis.

SPRINGER-VERLAG

BERLIN · GÖTTINGEN · HEIDELBERG

## Umschau

### Martin Offtermatt 25 Jahre in Firma Gustav A. Braun Biberwerk Köln—Stuttgart—Hamburg

Am 27. Oktober 1959 begeht Herr Martin Offtermatt, geb. 1910 in Köln, Mitinhaber des im Familienbesitz befindlichen Unternehmens Gustav A. Braun Biberwerk, Fabrik chemischer Baustoffe, Köln—Stuttgart—Hamburg, Geschäftsführer der Firmen Biberwerk GmbH, und Biberol GmbH., beide in Köln, sein 25jähriges Arbeitsjubiläum.

Als Sohn des 1944 verstorbenen Fabrikdirektors Gustav Offtermatt, Eßlingen/Neckar, trat er nach Abschluß des Ingenieurstudiums im Jahre 1934 in die Firma Gustav A. Braun Biberwerk, Köln, ein. Seit 1950 leitet er in Gemeinschaft mit seiner Gattin, Frau Gertrud Offtermatt, die Geschicke der bekannten Firma.

Ausgerichtet auf den Wahlspruch des 1939 verstorbenen Firmengründers, Herrn Gustav A. Braun „Emsiges Ringen zum Gelingen“ und dank seiner Zielstrebigkeit und seines ermüdlichen Einsatzes für das Wohl der Firmen, gepaart mit Umsicht und Tatkraft, hat er entscheidend bei der Entwicklung dieser Firma zu ihrer heutigen Bedeutung mitgewirkt.

### Niedersächsische Landesbauschule für Wasserwirtschaft und Kulturtechnik in Suderburg/Hann.

Als Nachfolger des am 22. August 1958 verstorbenen Direktors der Niedersächsischen Landesbauschule für Wasserwirtschaft und Kulturtechnik in Suderburg, Herrn Oberbürgermeister Dr. Herbert Meyer, hat am 1. August 1959 Herr Oberbürgermeister Dipl.-Ing. Helmut Damrath die Leitung der Bauschule in Suderburg übernommen.

### Erstes deutsches Atomkraftwerk in Kahl bei Frankfurt a. M.

Der von einem Betonmantel umgebene Stahlbehälter, das erste deutsche Atomkraftwerk, das die AEG in Kahl bei Frankfurt am Main baut, liegt zur Hälfte unter der Erdoberfläche. Der eigentliche Reaktorkern nimmt nur etwa 1/1000 des Innenraums des fast 50 m hohen Stahlbehälters ein und liegt dem unterirdischen Teil, in dem auch die für den Betrieb erforderlichen Hilfseinrichtungen angeordnet sind. In den oberirdischen Teilen befinden sich der Hauptbedienungsflur, Wärmetauscher sowie ein Maschinenkran. Der gesamte Stahlbehälter ist völlig gasdicht ausgeführt, das Innere kann bei Druckschleusen betreten werden.

Außer diesem Kernkraftwerk baut die AEG z. Z. drei weitere Reaktoren für Deutschland und plant ein Kernenergie-Großkraftwerk.

### 2. Internationale Bauausstellung in Paris

Die Zweite Internationale Bauausstellung findet vom 17. bis 27. März 1960 in Paris, Rond Point de la Défense, statt. Anmeldungen sind zu richten an EXPOMAT, 1, Avenue de la Paix, Paris XVII°, Tel. GAL. 96—98 u. ETO. 39—86.

### BAUMA 60 in München

Das Süddeutsche Bauzentrum teilt mit, daß die nächste Deutsche Baumaschinen-Ausstellung in der Zeit vom 17. bis 27. März 1960 im Münchener Ausstellungspark Theresienpark stattfindet.

### Deutsche Industriemesse 1960 in Hannover

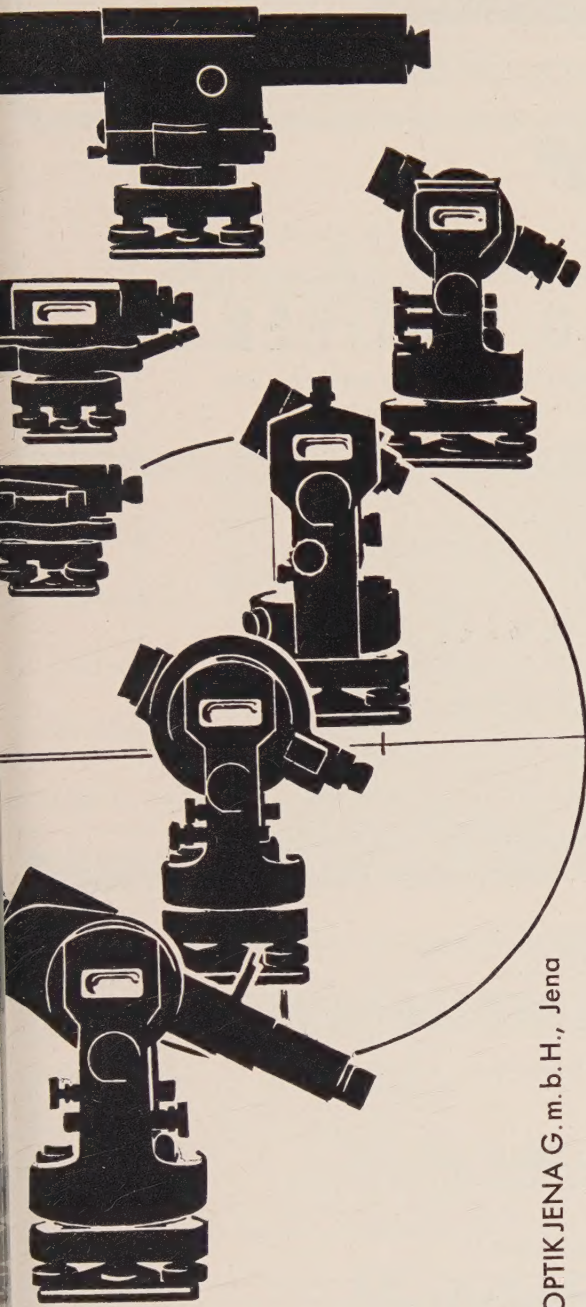
Die Deutsche Industriemesse 1960 findet in der Zeit vom 24. 4. bis 3. 5. 1960 in Hannover statt.

### Baugrundtagung 1960

Die sechste Baugrundtagung findet vom 11. bis 14. Mai 1960 in Frankfurt am Main statt. Am Mittwoch, dem 11. Mai, nachmittags tagt die Mitgliederversammlung; am Donnerstag, dem 12. Mai, und Freitag, dem 13. Mai, werden im Großen Festsaal des Gesellschaftshauses im Zoo Vorträge gehalten; am Samstag, dem 12. Mai, findet ein Gesellschaftsabend im Fürstlichen Hof statt; am Sonntag, dem 14. Mai, werden Besichtigungen durchgeführt.

### 4. Kongreß Fédération Internationale de la Précontrainte

Der Internationale Spannbeton-Verband hat den vierten Kongreß für Juni oder Juli 1962 in Aussicht genommen. Der Kongreßort: Rom oder Neapel.



JENOPTIK JENA G.m.b.H., Jena

## ermessungsgeräte

aus JENA

Angaben Sie Druckschriften 10/F unter Angabe des Gerätes

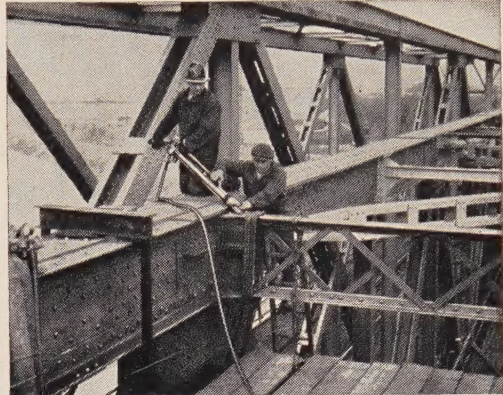
Lieferung für die Bundesrepublik

Werner Jähnert, Göttingen

Generalvertretung der optischen Werke JENA

## Linde DRUCKLUFT-WERKZEUGE

FÜR BAUARBEITEN



NIETKOPF-ABSCHERHÄMMER  
AUFREISSHÄMMER  
SPATENHÄMMER  
BETON-STAMPFER  
DRUCKLUFTSCHLÄUCHE  
UND ARMATUREN

GESELLSCHAFT FÜR LINDE'S EISMASCHINEN  
AKTIENGESELLSCHAFT  
ZWEIGNIEDERLASSUNG MASCHINENFABRIK SORTH  
SORTH/RHEIN

## KAISER

### Baumaschinen

HERSTELLUNGSPROGRAMM:

Betonmischer  
Beton-Mischautomaten  
Beton-Mischzentralen  
Turmdrehkrane  
Verladedrehkrane  
Druckluft-Betonförderer  
Elektro-Handschraper  
Biegemaschinen  
für Monierstahl  
Scheren für Monierstahl  
Aufzüge, Winden



MASCHINENFABRIK OTTO KAISER KG.

St. Ingbert/Saar  
Telefon: 2351-53  
Telegr.-Adr.: Baumaschine  
Telex: 044262

Oberahnstein/Rhein  
Telefon: 541-43  
Telegr.-Adr.: Baumaschine  
Telex: 086822





BIBER

SPERRBETON  
WASSERDICH  
AMTLICH ZUGELASSENGUSTAV A. BRAUN  
BIBERWERK  
KÖLN · STUTTGART · HAMBURG

Steinmüller

sucht einige

## STAHLBAU-STATIKER

für Stahlhochbau und Stahlindustrialbau mit Erfahrung auf sämtlichen Gebieten des modernen Stahlbaus.

Bewerbungen mit üblichen Unterlagen, Gehaltsforderung, Referenzen und Angabe des frühesten Eintrittstermines an die Personalabteilung erbeten.

L. & C. STEINMÜLLER GMBH  
ROHRENDAMPFKESSEL U. MASCHINENFABRIK  
GUMMERSBACH

Gesucht zum baldigen Dienstantritt

## 4 Bauingenieure

(3 Tiefbau, 1 Kulturbau)

für Entwurfsbearbeitung und Bauleitung für Flußbau und Hafenbauten an der schleswig-holsteinischen Westküste.

Vergütung: 1 Stelle IV b bzw. IV a, 3 Stellen V a bzw. IV b TO. A.

Bewerbungen mit handgeschriebenem Lebenslauf, Lichtbild, Zeugnisabschriften und Angabe des frühesten Dienstantritts werden erbeten an das Wasser- und Schiffsamt Tönning.

Suche für mein Ingenieurbüro zur konstruktiven Bearbeitung von Stahlbetonbauten

## jungen Bauingenieur

Bewerbungen mit Lebenslauf, Zeugnisabschriften, Gehaltsansprüchen und frühestem Antrittstermin erbeten an

Dr.-Ing. A. FINTER  
Prüfungsingenieur für Baustatik  
Leverkusen, Postschließfach 95

Für interessante Tätigkeit im Wasserbau am Oberrhein

## 1 Diplom-Ingenieur (TH)

und

## 1 Tiefbauingenieur (HTL)

zum alsbaldigen Eintritt gesucht.

Vergütung erfolgt nach TO. A.

Wasser- und Schiffsdirektion Freiburg i. Br.,  
Eisenbahnstraße 41.

Bei der Senatsverwaltung für Bau- und Wohnungswesen — Abteilung VII — ist ab sofort die Stelle eines

## technischen Hauptsachbearbeiters

— Vgr. III TO. A —

zu besetzen.

Kennziffer: 200

Sachgebiet: Technische Aufgaben der Wasseraufsicht: Prüfung von Einleitungen in Wasserläufe oder Seen, Schauen der Wasserläufe II. und III. Ordnung, Bearbeiten und Prüfen von Angelegenheiten der Wassergenossenschaften.

Anforderungen: Diplom-Ingenieur auf dem Gebiete des Wasserbaues oder des städtischen Tiefbaues mit besonderen Kenntnissen des Wasserwesens, der Wasserwirtschaft, insbesondere der Reinhaltung der Gewässer und des Wasserrechts.

Bewerbungen sind mit Lebenslauf bis zum 1. November 1959 unter Angabe der Kennziffer an den

Senator für Inneres — II F 1 —,

Berlin-Wilmersdorf, Fehrbelliner Platz 2,

einzureichen.

Für eine interessante Baustelle in Österreich werden

## 2 erfahrene Caisson-Meister

gesucht. Geboten wird eine gut bezahlte Stellung auf 6 bis 7 Monate ab 1. Januar 1960.

Angebote erbeten unter SF 575 an WEFRA Werbegesellschaft, Frankfurt a. M., Gr. Eschenheimer Str. 39.

Einmal gebrauchte, sehr gut erhaltene

### Stahlspondwände

in den Fabriken „Dortmunder-Union 3“  
und „Hoesch 3“ in den Längen von 3 bis 8 m  
laufend und preisgünstig abzugeben.

F. & A. JEHLE oHG., Rastatt-Hügelsheim/Baden  
Fernsprecher: Iffezheim 277

Nichtstaubende, abriebfeste

### Betonböden

alte u. neue, mit „Kompakta“. Prosp. B 12 durch  
Baustoff-Chemie, Seebuck/Oberbay.

#### VERMESSUNGS-INSTRUMENTE

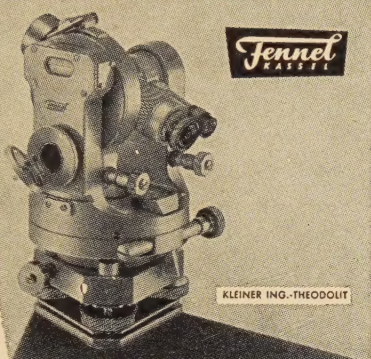
Nivelliere

Theodolite

Tachymeter

Grubengeräte

und Zubehör



KLEINER ING.-THEODOLIT

OTTO FENNEL SÖHNE KG · KASSEL

Fortsetzung von Seite 8



hochwirksame Dichtungsmittel  
ohne Festigkeitseinbuße  
auch verzögernd lieferbar

Organa-Bautenschutz, Bochum-Gerthe  
Gebr. Mayer, chem. Fabrik, Eßlingen/N



\* zugelassen – frei von Calciumchlorid

### Streckmetall

für Gitter und Beläge  
für Bauzwecke  
als Putzträger und Betoneinlage



**SCHUCHTERMANN & KREMER-BAUM**

Aktiengesellschaft für Aufbereitung  
DORTMUND · Telefon Sa.-Nr. 30651

## HUMBOLDT

*sucht*

für den Stahlhoch-, Brücken- und Behälterbau

einen

### Betriebsleiter

zum baldigen Eintritt.

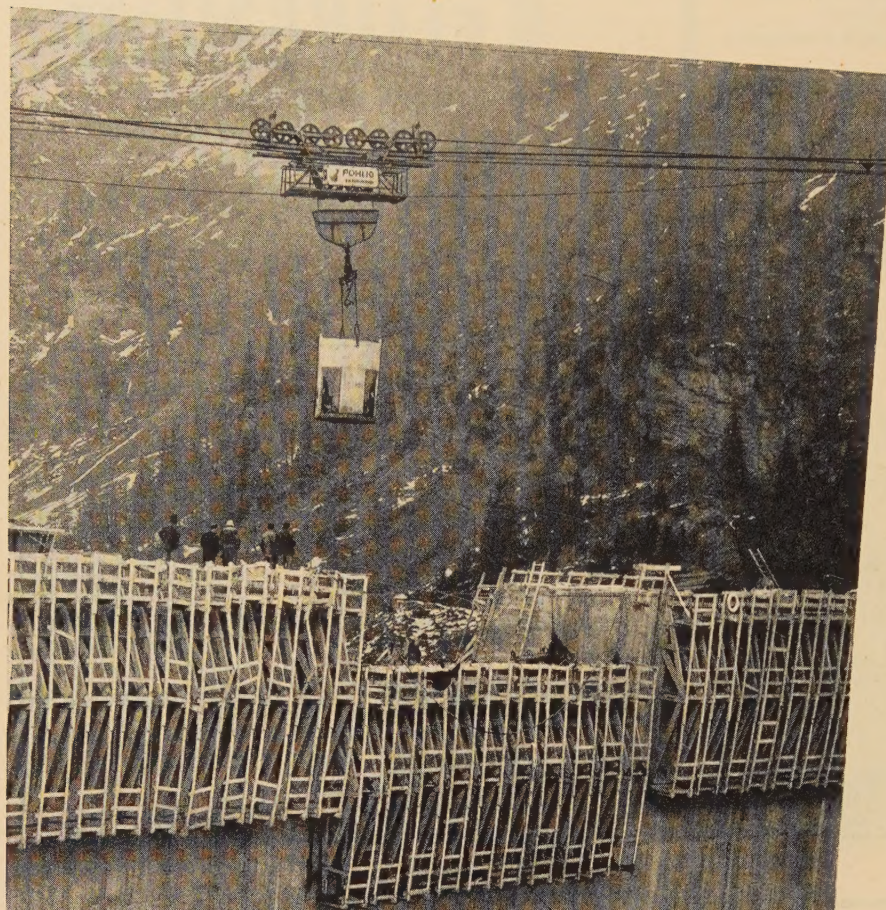
Die Bewerber müssen neben der entsprechenden Berufserfahrung  
umfassende Kenntnisse auf dem Gebiet der Schweißtechnik sowie  
im Akkord- und Terminwesen (Refa) besitzen.

Herren, die in ähnlicher Stellung mit Erfolg tätig gewesen sind, werden um  
ihre Bewerbung unter Beifügung eines handschriftlichen Lebenslaufes, von  
Zeugnisabschriften bzw. -fotokopien, eines Lichtbildes und unter Angabe  
der Gehaltswünsche sowie des frühesten Eintrittstermines gebeten.

**KLÖCKNER-HUMBOLDT-DEUTZ**  
AKTIENGESELLSCHAFT

PERSONALVERWALTUNG · ANGESTELLTENABTEILUNG · KÖLN-DEUTZ

# POHLIG-KABELKRANE



Allein in der Schweiz  
wurden in den letzten 8 Jahren  
für den Bau von Staumauern  
**20** POHLIG-Kabelkrane eingesetzt  
mit Tragkraft bis 20 t  
Hubhöhen bis 275 m  
Spannweiten bis 880 m  
und Fahrgeschwindigkeiten  
von mehr als 360 m/min.

**J. POHLIG AKTIENGESELLSCHAFT · KÖLN**

